

전체 공급망 수익성 개선을 위한 게임이론 기반의 수요 할당 메커니즘의 비교 연구

Comparative Analysis of Game-Theoretic Demand Allocation for Enhancing Profitability of Whole Supply Chain

신광섭(Kwang Sup Shin)*

초 록

본 연구는 공급망 운영에서 가장 기본적이고 필수적인 연구 분야인 공급자의 선정과 수요의 할당 문제를 해결하기 위한 방법으로 게임이론을 적용하였다. 특히, 가장 보편적으로 사용되고 있는 점진적 역경매 메커니즘을 비울적 형평성을 보장하는 구매 게임 방식과 공급망 전체 운영의 수익성이라는 관점에서 비교 분석하였다. 서로 다른 두 메커니즘의 정교한 비교 분석을 위한 전체 알고리즘을 제시하였으며, 구매게임을 이용한 공급자 선정 및 주문 배분의 최적해는 유전자 알고리즘을 통해 도출하였다. 전체 공급망의 수익성은 공급자와 구매자의 수익합수와 수익-비용 비율을 통해 평가하였다. 실제 현실의 공급망을 단순화한 모형을 바탕으로 본 연구에서 제안하는 방법이 전체 공급망의 수익성을 어떻게 향상시킬 수 있는지를 간단한 실험과 통계 분석을 통해 설명하였다. 이를 통해 구매게임의 해가 역경매 방식에 비해 구매자의 수익성 감소를 통해 공급자와 구매자를 모두 포함하는 공급망 전체의 수익성을 크게 향상시킬 수 있음을 보였다.

ABSTRACT

This research is an application of game theory to developing the supplier selection and demand allocation mechanism, which are the essential and major research areas of supply chain planning and operation. In this research, the most popular and widely accepted mechanism, the progressive reverse auction is analyzed and compared with the other game theoretic approach, Kalai-Smorodinsky Bargaining Solution in the viewpoint of holistic efficiency of supply chain operation. To logically and exquisitely compare the efficiencies, a heuristic algorithm based on Genetic Algorithm is devised to find the other optimal demand allocation plan. A well known metric, profit-cost ratio, as well as profit functions for both suppliers and buyer has been designed for evaluating the overall profitability of supply chain. The experimental results with synthesis data and supply chain model which were made to mimic practical supply chain are illustrated and analyzed to show how the proposed approach can enhance the profitability of supply chain planning. Based on the result, it can be said that the proposed mechanism using bargaining solution may guarantee the better profitability for the whole supply chain including both suppliers and buyer, even though quite small portion of buyer's profitability should be sacrificed.

키워드 : 공급망 운영, 수요 할당, 게임이론, 효율성, 공정성

Supply Chain Operation, Order Allocation, Game Theory, Efficiency, Fairness

이 논문은 인천대학교 2012년도 자체연구비(신임교수연구과제) 지원에 의해 연구되었음.

* Corresponding Author, Graduate School of Logistics, Incheon National University, Incheon, Korea
(ksshin@incheon.ac.kr)

2013년 10월 22일 접수, 2013년 11월 19일 심사완료 후 2013년 12월 13일 게재확정.

1. 서론

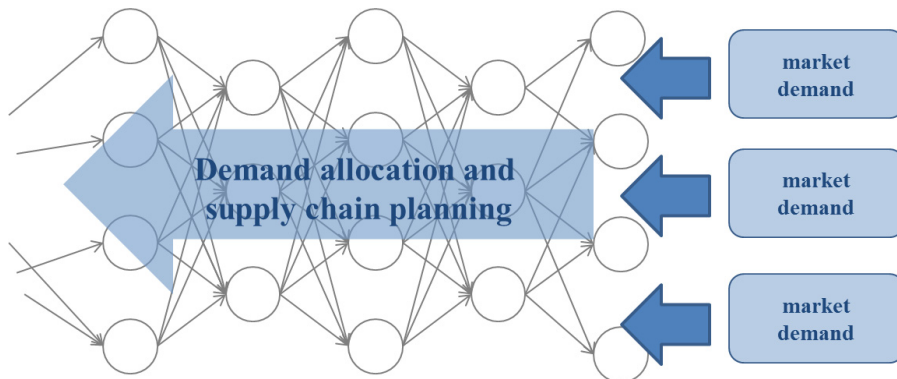
최근 급변하는 시장 환경에 대응하고 극심한 경쟁에서 살아남기 위해서는 최적의 공급망 운영 계획을 수립해야 하며, 이는 시장에서 발생하는 제품 혹은 서비스의 수요에 대해 어떻게 대응할 것인가를 결정하는 하는 것으로부터 출발한다[7, 19, 22]. 이러한 과정은 아래 <Figure 1>과 같이 표현될 수 있으며, “개별 공급망의 구성 요소가 가지는 수요를 하위 공급망 구성 요소에게 어떻게 할당할 것인가?”라는 질문에 해답을 찾기 위한 과정으로 해석할 수 있다.

앞선 질문에 대한 대답으로는 자체 생산, 외주 생산 및 일부 자체 생산 등의 다양한 전략이 대안이 될 수 있으나, 궁극적으로는 본인이 가진 수요를 충족하기 위해 자신과 거래하고 있는 “공급업체 중 누구에게 수요를 할당할 것이며, 또 얼마만큼을 할당할 것인가?”에 대한 해답을 제시할 수 있어야만 한다. 다시 말하면, 공급망 운영 계획의 수립은 수요의 할당부터 출발한다고 볼 수 있다[7].

이를 위해 기존에는 공급자 선정 후 수요

를 할당하는 단계적 접근법을 활용하는 것이 일반적이었으며, 공급자 선정 기준에 대한 연구와 선정된 공급자들을 대상으로 최적의 수요 할당 계획을 수립하기 위한 연구가 주를 이루었다. 그러나 기존 연구의 대부분은 공급망 전체를 바라보지 못하고, 수요 할당에 관한 의사결정권을 가진 구매자의 수익 혹은 효율성을 높이기 위한 방법을 제시하는 데 중점을 두고 있다. 그러나 Kheljani et al. [12]의 연구에서 검증된 바와 같이 단순히 개별 구매자의 수익성을 높이기 위한 수요 혹은 자원의 할당 전략은 전체 공급망 관점에서는 수익성을 향상시키는데 한계가 존재할 수 밖에 없다.

특히, 최근 우리나라에서는 계약 관계에서 우월한 위치의 기업이 가진 비용 혹은 위험 요소를 상대 기업에게 전가시키는 사건이 다양한 산업 분야에서 발생하여 사회적인 이슈가 되고 있다. 이러한 문제는 제품 혹은 서비스를 최종 고객에게 전달하는 과정의 가운데 위치한 기업들의 수익성이 연쇄적으로 악화되는 현상의 근본적인 원인이 되고 있으며 [20], 장기적인 기술 혁신, 제품 및 서비스 개



<Figure 1> Meaning of Demand Allocation in Supply Chain Operation

받을 위한 신규 투자의 기회를 축소 시켜 결국 공급망 전체에 속한 기업의 사업 연속성을 위협하게 될 것이다.

이러한 한계점을 극복하고 공급자와 구매자 간 협업을 지원하기 위해 CPFR, Revenue sharing, VMI, Volume Discount 등과 같은 다양한 방안이 제시되고 있다. 그러나, 이러한 공급자와의 협업을 위한 모델들 역시 공급자를 선정하기 위한 정량적이거나 정성적인 평가 기준, 그리고 수요를 할당하는 메커니즘 역시 구매자의 이익을 기반으로 설계되었기 때문에 앞서 언급한 문제점을 해결하는데는 한계가 존재할 수밖에 없다. 또한, 수요를 할당받는 공급자 사이의 경쟁적인 관계를 나타낼 수 없다는 한계점이 여전히 존재한다. 따라서, 공급망에 참여하는 전체 구성 요소의 수익성을 동시에 극대화될 수 있도록 수요 할당 계획 수립 시 구매자와 공급자 양측의 입장을 모두 고려해야 한다.

본 연구에서는 기존 공급자 선정과 수요 할당 메커니즘이 가지는 한계점을 극복하고 전체 공급망의 수익성을 높이기 위한 방안을 제시하였다. 우선 선정된 공급자를 대상으로 최적의 수요 할당 계획을 위해서는 게임 참여자들 사이의 비울적 공정성을 보장하는 Kalai-Smorodinsky Bargaining Solution (KSBS)을 이용하고, 공급자 선정을 위해서는 유전 알고리즘을 활용하였다. 전통적인 공급자 선정 및 수요 할당 메커니즘 중 가장 대표적이라고 할 수 있는 역경매 방식과의 비교 분석을 통해 본 연구에서 제안하는 방식이 공급망 전체의 효율성을 향상시킬 수 있음을 보였다. 특히, 공급망 효율성의 정량적 평가를 위해 공급자와 구매자의 효용 함수를

우선 정의하고, 수익성을 평가하기 위해 지표로 편익비용비(benefit cost ratio)를 제시하였다. 서로 다른 메커니즘을 이용하는 역경매와 구매 방식의 정교한 비교를 위한 알고리즘을 제시하였으며, 반복 실험 결과의 통계적 가설 검증 방식을 통해 본 연구에서 제안한 수요 할당 방식의 우수성을 설명하였다.

본 논문의 나머지는 다음과 같이 구성되어 있다. 제 2장에서는 공급자 선정 및 수요 할당과 관련된 기존 연구를 분석하고, 제 3장에서는 연구 수행에 필요한 기본적인 가정사항과 공급자 선정과 수요 할당의 기준이 되는 효용함수를 설계하였다. 제 4장에서는 실제로 수요를 할당하기 위한 역경매와 구매해 기반의 메커니즘을 설명하고, 공급자 선정 및 수요 할당의 전역 최적해를 찾기 위한 유전자 알고리즘에 대해 설명한다. 제 5장에서는 간단한 공급망 예제를 바탕으로 구성된 간단한 실험과 그 결과에 대해 토의한다. 마지막으로 제 6장에서는 본 연구가 가지는 의미와 한계점 및 향후 연구 방향에 대해 설명한다.

2. 문헌 연구

수요 할당은 한 기업이 하위 계층의 여러 공급자들에게 자신이 필요로 하는 자원을 누구에게 얼마만큼의 양을 요청할 것인지를 결정하는 문제라고 할 수 있다. 그 답을 얻기 위한 공급자의 평가, 선정에 관한 문제는 최근 기업이 직면한 극심한 시장 경쟁 상황에서 성공적으로 생존하기 위한 필수적인 활동이라 할 수 있다[7, 19]. 특히, Vonderembse and Tracey[22]는 그들의 연구에서 기업이 급변하

는 시장환경에서 성공적인 생산성 향상을 통한 경쟁 우위를 확보하기 위해서는 폭 넓게 공급자를 탐색하고, 주의 깊게 평가 및 선정할 필요가 있다고 언급하였다. 이와 같이 수요할당 문제는 공급사슬에서 행해지는 기본적인 구매 기능 중 핵심적인 역할을 수행한다[11, 15]. 또한, 효율적인 수요 할당의 결과, 여러 계층에 걸친 수요와 공급 간의 균형을 이룰 수 있으며 급격한 고객의 수요 변화에 대해 안정적으로 대응할 수 있을 것이다[14].

기존의 공급자 평가, 선정 및 수요할당과 관련된 연구를 문제 해결을 위한 방법을 중심으로 살펴본다. 우선 첫 번째로 공급자의 평가, 선정 및 수요 할당 문제를 동시에 해결하기 위한 모형을 제시한 연구가 존재한다. Che and Wang[7]은 제품을 생산하기 위해 필요한 부품을 BOM에 따라 common part와 non-common part로 구분하고, 생산 과정에서 필요한 부품을 조달해줄 공급자들을 선정하는 문제와 선정된 공급자들에게 수요를 할당하기 위한 최적 계획 수립의 문제를 동시에 해결하기 위한 방법을 제안하였다. 이를 위해 목적함수를 품질, 비용, 시간에 관한 T-score를 기반으로 구성하였으며, 유전 알고리즘을 통해 최적의 공급자 조합과 수요 할당량을 결정하였다[7]. 이와 달리, 공급자 평가를 위해 Multiple Attribute Utility Theory(MAUT)를 이용하고 이를 선형계획모형과 결합하여 공급자 선정과 수요 할당 계획이 구매자의 총 효용을 극대화할 수 있는 최적해를 구하는 방식을 적용한 사례도 존재한다[19].

그러나, 앞서 두 가지 문제를 한 번에 해결하기 위한 방안을 제시한 연구와는 달리 일반적으로 공급자 선정 및 수요 할당 계획 수

립 문제는 서로 직접적인 영향을 가지기 때문에 다항 시간 내에 전역 최적해를 찾아내는 것이 불가능하다. 따라서, 공급자를 우선 평가 및 선정하고 선정된 공급자를 대상으로 최적의 수요를 할당하는 두 단계를 거쳐 수요 할당 계획을 수립하는 것이 널리 알려진 방법이다[1]. 우선 잠재적 공급자의 개별 공급 능력에 대한 사전 평가를 통해 구매자 자신의 수요에 대한 잠재적인 공급능력을 파악하고 이를 수요 할당의 기준으로 활용할 수 있다. 공급 능력의 평가를 위해 공급자의 역량 수준 평가에 대한 다각적 기준을 제시한 연구[6], 계층 분석 과정(Analytic Hierarchy Process; AHP), 네트워크 분석 과정(Analytic Network Process; ANP), 자료 포괄 분석 기법(Data Envelopment Analysis; DEA) 등의 다기준 기반 성능 측정 기법을 적용한 연구들[5, 10, 23], 퍼지 기법을 활용한 불확실성 기반의 공급자 평가 방법[5, 8, 24] 등이 제안되었다.

공급 능력에 대한 정량적인 평가가 이루어진 후 정수계획법, 선형 또는 비선형 계획법을 통해 수요 할당의 수리적인 모델을 수립할 수 있다[9, 14, 17]. 이와 같은 연구는 비용의 최소화 혹은 이익의 최대화를 위한 수리 모형의 설계와 그 최적해를 찾는 방법에 관한 연구가 주를 이루고 있다. 이와 달리, 구매자가 정한 정책 혹은 메커니즘에 따라 공급자를 선정하고 수요를 배분할 수 있는 방법도 존재한다. 특히, 역경매(reverse auction)는 가장 단순한 방법으로 공급자 중에서 가장 낮은 가격을 제시한 공급자들에게 순차적으로 수요 할당의 최우선권을 제공하고자 하는 가장 일반적인 방법이라 할 수 있다.

이러한 기존의 연구는 몇 가지 한계점을 가지고 있다. 첫 번째로 인접한 공급망 계층 사이의 구매자와 공급자 간의 직접적 연결 관계에만 집중되어 한 계층에서의 대상 선택과 할당 비율 결정만을 다루고 있다[16]. 또한, 공급자 선정과 수요할당 과정에서 공급자는 구매자가 정한 양만큼을 공급해야 하는 구조를 가정하고 있어, 실제 공급자들 간의 경쟁관계나 공급자와 구매자 사이의 경쟁관계는 표현하지 못하고 있다. 예를 들어, 역경매를 활용하는 경우에는 입찰가를 기준으로 공급자가 선정되고, 입찰 시 제시한 공급물량을 기준으로 수요의 할당량이 결정된다.

두 번째로, 공급자 선정 및 수요할당과 관련된 연구는 대부분 공급망 전체의 효율성이나 가치의 향상이 아니라 구매자의 수익성을 향상시키기 위한 모델을 제시하고 있다. 이러한 접근법은 구매자의 수익 향상을 위해 공급자의 수익을 포기하게 만들어 전체 공급망의 수익성을 떨어뜨리는 결과를 초래할 수 밖에 없다. 특히, 역경매와 같은 차별적 수요 할당 방식이나 의사결정권자의 입장에서 개발된 최적화 모형은 공급자의 수익이나 비용 측면의 효율성은 고려하지 못하고 구매자의 수익을 보장하기 때문에 앞서 언급한 바와 같이 전체 공급망의 수익성을 향상시키는 데는 한계가 있을 수 밖에 없다. 실제로 전체 공급망의 효율성과 구매자의 효율성을 향상시키기 위한 모델을 비교 분석한 연구[12]가 존재하며, 이 연구는 구매자의 입장만을 고려한다면 전체 공급망의 효율성을 증가시킬 수 없음을 증명하였다.

이를 개선하기 위해서는 우선적으로 공급자 간 경쟁 관계와 공급자와 구매자 사이의 경쟁 관계를 동시에 고려해야 할 필요가 있다.

또한, 수요를 할당받는 공급자 간 수요 할당 결과의 공정성 (Fairness)을 기준으로 공급자 선정 및 수요 할당 메커니즘을 평가할 필요가 있다[25]. 만약, 공급자 선정과 수요 할당 과정에 있어 공정성이 보장되지 않는다면, 공급자들이 지속적으로 거래에 참여하기를 기대할 수 없기 때문이다. 다시 말하면, 공급자들이 해당 구매자와의 거래를 통해 더 이상 지속적인 수익 창출이 어려울 것이라는 것을 인식하는 순간 시장 구조가 허락하는 범위 내에서 다른 구매자와의 거래를 선호할 것이며, 공급자에게 일정 수준의 수익을 보장할 수 없는 경우 시설 투자나 기술 개발 등의 기회가 사라지게 되어 공급망 전체의 지속 가능성이 약해지기 때문이다.

따라서, 본 연구에서는 지금까지 수요 할당에 전통적으로 사용되어 왔던 차별적 할당 방식과는 달리 전체 공급자 사이의 형평성을 보장할 수 있는 구매 게임 기반 수요할당 방식을 제안한다. 또한 단일 구매자의 수익이 아닌 전체 공급망의 평균 수익성을 높일 수 있는 공급자 선정 방식을 제안하기 위해 유전 알고리즘을 활용하는 방식을 제안한다. 제안된 메커니즘을 통한 전체 공급망 수익성 향상 여부는 전통적인 접근 방식인 역경매를 이용하는 경우와 비교 분석한다.

3. 기본 가정 사항과 효용함수

3.1 기호 및 기본 가정 사항

본 연구에서는 실제 공급망에 대한 설명력을 잃지 않는 범위 내에서 문제를 단순화하고,

공급자 선정과 수요 할당에 관한 문제에만 집중하기 위해 다음과 같이 구매자와 공급자에 대한 몇 가지 사항을 가정한다.

3.1.1 변수 및 기호

본 연구에서 이후에 사용될 기호와 그에 대한 간략한 설명은 다음 <Table 1>에 정리하였다. 수요 할당 문제의 결정변수(x_{ij})는 어느 구매자에게 얼마만큼의 수요를 할당할 것인가를 의미한다.

<Table 1> Variables and Notations

Variables and Notations	Descriptions
N	set of Suppliers
M	set of Buyers
i	index of suppliers, $i \in N$
j	index of buyers, $j \in M$
x_{ij}	amount of allocated demand from buyer j to supplier i , decision variable
D_i^0	minimum requirement of supplier i
D_i^{MAX}	production capacity of supplier i
p_i	unit price of supplier i
C_i^0	fixed cost of supplier i
Q_j	Total demand of buyer j
s_j	Sales price of buyer j

3.1.2 구매자 관련 가정 사항

- 고정 총수요 : 시장으로부터 발생하는 총 수요의 양은 고정되어 있다.
- 고정 판매 비용 : 구매자가 시장에 판매하거나 이차 판매자에게 공급하는 가격은 고정되어 있다.
- 균등합 효용함수 : 구매자의 수익함수는 개

별 공급자와의 거래에서 얻어지는 수익의 총합으로 표현되며, 각 거래에 대한 가중치는 동일하다.

3.1.3 공급자 관련 가정 사항

- 고정 공급 능력 : 각 공급자는 고정된 생산 한계를 가지며, 한계 이상의 수요를 할당받을 수 없다.
- 고정 공급 단가 : 공급자가 구매자에게 제공하는 제품의 공급단가는 미리 정해져 있으며, 이는 구매자에게 제시되는 가격이다.
- 공급자 별 차별화된 수익함수 : 동일한 제품이나 서비스를 구매자에게 제공한다고 하더라도, 공급자의 생산 시설, 기술 및 생산성이 모두 다르기 때문에 개별 공급자에게 특화된 수익함수가 존재한다.

3.1.4 공급망 관련 가정 사항

- 단일 상품 : 공급망 전체에서 거래되는 제품은 단일제품을 가정한다.
- 제품의 품질 관련 문제 무시 : 공급자로부터 제공받는 제품과 관련된 오류나 품질 문제로 인한 영향력은 고려하지 않는다.

3.2 공급자와 구매자의 수익함수

게임 이론을 이용한 수요 할당 계획을 수립하고, 공급망 운영의 효율성을 평가하기 위해서는 공급망에 참여하는 주체별 효용함수를 우선적으로 설계해야 한다. 본 절에서는 수요 할당 게임에서 개별 게임 참여자들의 효용함수를 수익함수로 정의하고, 서로 대치되는 목적을 가진 공급자와 구매자의 수익함수를 개별적으로 설명한다.

3.2.1 공급자 수익함수

우선, 공급자의 수익함수는 구매자로부터 할당받은 수요의 양에 의해 결정된다. 이 수요는 아래 <Figure 2A>와 같이 공급자가 가진 제품의 공급 단가와의 공급량의 매출을 발생시킨다. 또한 할당받은 양만큼의 수요를 생산하기 위해서는 고정생산비용과 변동생산비용이 발생하며, 이들의 합으로 총 비용이 정의된다. 따라서 매출액과 총 비용의 차이만큼을 공급자의 수익으로 나타낼 수 있다. 일반적으로 제품의 총 생산비용은 규모의 경제를 적용할 수 있으며, <Figure 2A>의 실선으로 나타낼 수 있다. 그리고, 앞선 제 3.1절에서 고정 공급 단가를 가정하였으므로, 총 매출액은 할당 받은 수요의 크기에 비례하여 <Figure 2A>의 점선으로 표현될 수 있다.

특히, 총 비용과 총 매출액이 교차하는 지점은 공급자가 가지는 수요 할당량의 최소 요구량으로 그 이하의 양을 할당받을 경우, 수익이 음의 값을 가지게 되므로, 공급자는 합리적인 공급자라면 수요 할당 게임에 참여

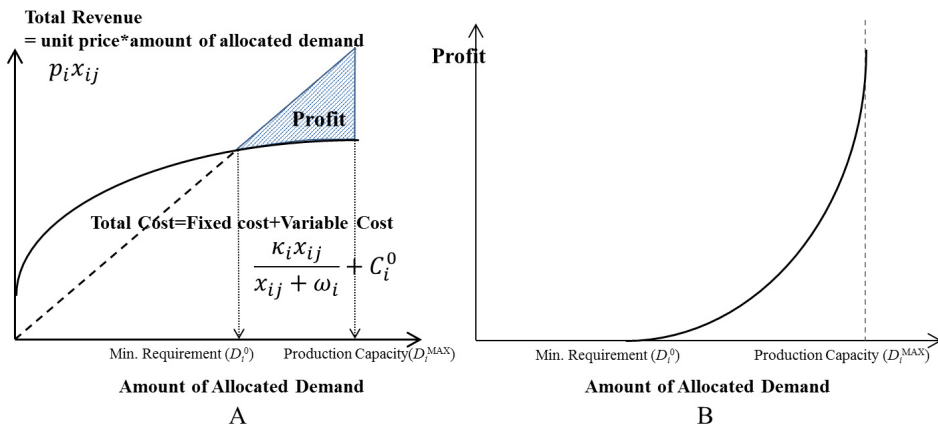
하지 않는 의사결정을 내리게 된다. 또한 3.1절에서 가정한 바와 같이 각 공급자는 개별 생산 한계량을 가지므로 그 이상의 수요를 할당받는 것 역시 불가능하다. 따라서 각 공급자에게 할당되는 수요는 최소 요구량과 생산 한계 사이의 값이어야 한다. 결론적으로, 공급자의 수익함수는 <Figure 2B>의 그래프와 같은 형태로 나타내게 된다. 이는 아래 식 (1)을 통해 표현될 수 있다. 여기에서, 수익함수를 구성하는 양의 계수 ω_i 와 k_i 는 할당받은 수요에 대한 수익함수의 민감도를 나타내며, 수익함수의 수렴속도와 기울기를 결정한다.

$$\pi_i(x_{ij}) = p_i x_{ij} - \frac{\kappa_i x_{ij}}{x_{ij} + \omega_i} - C_i^0, \quad (1)$$

$$D_i^0 \leq \sum_{j \in M} x_{ij} \leq D_i^{MAX}$$

3.2.2 구매자 수익함수

구매자의 수익함수는 앞서 제 3.1절에서 언급한 바와 같이, 우선 각 공급자에게 할당한 수요와 공급 단가 및 판매가격의 차이의 곱을



<Figure 2> Profit function of Suppliers A. Total Revenue and Cost of Supplier; B. Profit Function

통해 개별 공급자로부터 발생하는 수익을 계산하고, 이들의 총합으로 표현할 수 있다. 이는 아래 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\pi_j = \sum_i x_{ij}(s_j - p_i), \sum_i x_{ij} \leq Q_j \quad (2)$$

4. 수요 할당 메커니즘 간 비교 분석 방안

본 장에서는 이 연구에서 제안하는 수요 할당 메커니즘들에 대해 설명하고, 공급망 전체의 수익성과 공정성 측면에서 두 메커니즘을 비교하기 위한 방법을 제안한다.

4.1 게임이론을 이용한 수요 할당 메커니즘

본 절에서는 게임이론을 이용한 수요할당 메커니즘 중 차별적 수요할당을 위한 방식 중 가장 대표적인 Progressive Auction(PA) 방식과 비율적 공정성을 보장하는 Kalai-Smorodinsky Bargaining Solution(KSBS)을 이용한 수요 할당 방식을 설명한다.

4.1.1 Progressive Auction(PA)

PA에서 구매자가 경매를 진행하는 주체, 그리고 구매자가 경매에 참여하는 주체로 해석할 수 있다. 또한, 공급자가 가진 단가(p_i)는 입찰가(bid price)로, 생산 한계(D_i^{MAX})는 입찰량(bid quantity)으로 간주할 수 있다. 이 두 가지, 입찰가와 입찰량으로 구성되는 입찰 프로파일($\Phi_i = (p_i, D_i^{MAX})$)의 집합을 $\Phi = (\Phi_1, \dots, \Phi_n)$ 로 정의한다. 경매진행자는 입찰가와 입찰량을 기준으로 역경매를 진행하며, 그 기준은 아래 식

(3)과 식 (4)로 표현될 수 있다[2].

$$Q_j(p_i, \Phi_{-i}) = [Q_j - \sum_{k \neq i: p_k < p_i} a_k(\Phi)]^+ \quad (3)$$

$$a_i(\Phi) = \min\left(D_i^{MAX}, \frac{D_i^{MAX}}{\sum_{k: p_k = p_i} D_k^{MAX}} Q(p_i, \Phi_{-i})\right) \quad (4)$$

위의 식 (3)과 식 (4)는 보다 낮은 단가로 제품을 제공할 수 있는 공급업체에게 우선적으로 수요를 할당한다는 것을 의미한다. 특히, $Q_j(p_i, \Phi_{-i})$ 는 공급자 i 보다 낮은 단가를 제시한 공급자에게 우선적으로 수요를 할당하고 남은 양을 의미하며, $a_i^t(\Phi)$ 는 Tuffin[21]이 제시한 수정된 할당 방식을 적용한 것으로, 만약 현재 남아있는 수요가 충분하다면 공급자 i 가 원하는 양(D_i^{MAX})만큼을 할당하되, 만약 동일한 입찰가를 가진 공급자들의 전체 요구량의 합이 현재 남아 있는 양보다 작을 경우 이를 비율적으로 배분하는 방법이다. 이 과정은 구매자가 가진 전체 수요가 할당될 때까지 반복 수행된다.

4.1.2 Kalai-Smorodinsky Bargaining Solution (KSBS)

본 절에서는 PA와는 달리 수요 배분의 비율적 공정성을 보장할 수 있는 KSBS에 대해 설명한다. 우선 KSBS는 Aruoba 등과 Houba 등[3, 13]이 정의한 가능해 집합을 위한 조건과 식을 만족해야 하며, 최적해는 다음 식 (5)를 통해 정의되는 직선 L 과 구매가능해 집합의 교점에서 찾을 수 있다.

$$L = \left\{ \pi \left| \frac{\pi_1}{\alpha_1 \pi_1^{MAX}} = \dots = \frac{\pi_n}{\alpha_n \pi_n^{MAX}}, \pi_i > 0, \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \alpha_i \geq 0, \forall i \right. \right\} \quad (5)$$

이 때, 다음 식 (6)은 각 공급자의 만족도를 의미하는 데, 모든 공급자가 동일한 만족도를 가질 수 있도록 수요를 배분하는 것이 KSBS의 특징이며, 이 만족도가 최대 되었을 때가 바로 KSBS의 최적해를 구하는 것이라 할 수 있다.

$$\delta = \frac{\pi_1}{\alpha_1 \pi_1^{MAX}} = \dots = \frac{\pi_n}{\alpha_n \pi_n^{MAX}} \quad (6)$$

위의 식 (6)을 통해 최적 수요할당량을 구하기 위해서는 n 차원 다항시간이 소요된다. 따라서, 이를 해결하기 위해서 단순하면서도 효과적인 방법으로 알려진 이분법[4]을 이용한다. 본 연구에서는 각 공급자에게 할당될 수요의 상한($u = D_i^{MAX}$)과 하한($l = D_i^0$)을 이미 알고 있는 상황이기 때문에 이분법을 수정 없이 사용할 수 있다. 또한 이분법을 이용하여 최적의 수요 할당해를 구하는 데는 정확하게 $\epsilon \log_2((u-l)/\epsilon)$ 의 반복이 필요하다[18].

KSBS를 이용한 수요할당의 해를 구하기 위해서는 가장 먼저 각 공급자의 구매력이 정의되어야 한다. 구매력은 수요에 대한 각 공급자의 우선권을 보장하기 위한 것으로 다음 식 (5)을 통해 얻을 수 있다. 수요 할당의 의사결정 권한을 가진 구매자는 위 식 (7)에서 계수 ξ ($\xi > 0$)의 크기를 조정하여 공급자 간 구매력의 차이를 조정할 수 있다.

$$\alpha_i = \frac{1}{(n \cdot \xi + 1)} \left(\xi + \frac{p_i}{\sum_{k=1}^n p_k} \right) \quad (7)$$

4.1.3 유전자 알고리즘을 이용한 공급자 선정 및 수요 할당

앞의 제 4.1.2절에서 설명한 KSBS를 이용한 수요할당 방식은 어느 공급자에게 수요를 할

당할 것인가를 미리 결정된 상태에서 최적의 할당 계획을 수립하는 것이다. 즉, 이를 위해서는 전체 공급자 군에서 일부 공급자의 부분 집합을 선정하고, 그 결과를 기반으로 KSBS를 적용해야 한다는 것을 의미한다. 공급자 집합의 선정과 수요 할당은 독립적인 문제일 수 없고, 서로 큰 영향을 미치는 문제이므로, 이를 동시에 해결하기 위한 방법이 필요하다. 그러나, 전체 공급자 중에서 일부의 공급자를 선택하는 문제는 조합최적화의 가장 일반적인 문제로 발견적 기법을 적용하는 것이 합당하다. 본 연구에서는 이를 위해 유전자 알고리즘을 이용하고자 한다. 유전자 알고리즘을 적용하기 위한 세부 절차는 제 4.2.2절 성능 비교 평가 절차에서 자세하게 설명한다.

4.2 성능 비교 평가 방법

4.2.1 성능 비교 평가 기준

본 연구의 궁극적인 목적은 구매자가 가진 수요를 공급자에게 할당하는 방법 중 전통적으로 사용되는 차별적 할당 방식의 대표적인 방법인 역경매를 이용하는 방법과 본 연구에서 제안하는 비율적 평등을 보장하는 방법 간의 성능을 비교하는 것임을 이미 1장에서 밝힌 바 있다. 두 방법 간의 정확한 비교를 위해서는 두 메커니즘에 공통으로 적용될 수 있는 정량적 평가 기준을 정의해야 하며, 이를 위해 본 연구에서는 수익-비용 비율(benefit-cost ratio)을 이용하고자 한다. 이는 다음 식 (8)을 통해 계산된다.

$$r_j = \frac{\pi_i(x_{ij})}{c_j(x_{ij})} = \frac{\pi_i(x_{ij})}{p_j x_{ij}} \quad (8)$$

위의 수익-비용 비율은 특정 공급자 혹은 구매자가 일정 수준의 수익을 얻기 위해서 얼마만큼의 비용을 지불했는지를 나타내는 지표로, 단순히 공급망 전체에서 얻어지는 수익을 기준으로 평가하기 보다는 실제 공급망 운영의 수익성을 평가하기에 적합한 지표라고 할 수 있다.

4.2.2 성능 비교 평가 절차

역경매를 이용한 수요할당 메커니즘과 KS-

BS를 이용한 메커니즘 간 성능 평가를 위한 절차는 아래 Algorithm 1로 표현할 수 있다.

앞서 설명한 바와 같이, 역경매를 이용한 수요할당 메커니즘에서는 수요를 할당받을 수 있는 공급자는 입찰가에 따라 결정되며, 할당받는 수요의 크기 역시 그에 따라 결정된다. 이 때 결정되는 수익-비용 비율을 기준으로 본 연구에서 제안하는 수요할당 메커니즘이 수요 할당의 효과를 얼마나 개선시킬 수 있는지를 비교한다.

Algorithm 1. Procedure for comparing the performance

Input

- A set of suppliers, S , $|S|=m$;
- A set of bid prices, $P=\{p\}$;
- A set of bid quantity (max. requirements), $\{D_i^{MAX}\}$;
- A set of minimum requirements, $\{D_i^0\}$;
- Total demand, Q ;

Phase 1 : Reverse auction based demand allocation

```
Repeat {
  Find the suppliers with the highest bid prices;
  Proportionally allocated the remained demand
  according to the bid quantity;
  discard the suppliers from the set of suppliers;
}while (sum of allocated demand < Q)
```

Retrieve the set of the suppliers (S) who receive demand;

Calculate the utility-cost ratio of the supply chain network, r_A ;

Phase 2 : KSBS based demand allocation using GA

Input

- size of population: P
- max. number of iteration: T^{MAX}
- mutation rate: λ
- cross over rate: γ

Randomly set the binary value of all Genes ($\Omega_i=\{\omega_{i1}, \dots, \omega_{im}\}$) in population;

```
Repeat {
  Mutate and Crossover Genes with the parameters,  $\lambda$  and  $\gamma$ ;
  allocate total demand based on the Gene with bisection algorithm;
  calculate the fitness function;
} while (
  the fitness function does not get increased with significant level or
  the max. number of iterations get reached)
```

Retrieve the set of suppliers based on the final best Gene;

Calculate the utility-cost ratio of the supply chain network, r_K ;

유전 알고리즘을 이용한 공급자 선정에 관한 문제는 우선 전체 공급자 집합 중에서 수요를 할당받을 공급자를 결정하는 이진 변수의 벡터로 유전자($\Omega_i = \{a_{i1}, \dots, a_{im}\}$)를 표현할 수 있다. 유전자 알고리즘을 이용한 최적의 공급자 부분집합을 선정하기 위해서는 우선 유전자의 개체군의 크기(\mathbf{P})와 최대 반복 횟수(\mathbf{I}^{MAX})가 결정되어 있어야 하며, 유전자의 교배와 돌연변이 비율(γ, λ) 역시 사전에 결정되어 있어야 한다. 반복되는 유전자의 교배와 돌연변이를 통해 만들어지는 새로운 유전자를 기반으로 수요를 할당받게 되는 공급자가 선정되며, 이들을 대상으로 KSBS를 이용한 수요할당 계획을 수립한다. 유전알고리즘을 적용하고, 해의 성능과 개선정도를 평가하기 위한 적합도함수(Fitness Function)를 아래 식 (9)와 같이 정의한다.

$$fitness = \frac{\sum_{i=1}^n d_i x_i^K}{Q} \times \frac{\sum_{i=1}^n r_i^K / \sum_{i=1}^n x_i^K}{\sum_{i=1}^n r_i^A / \sum_{i=1}^n x_i^A} \times \frac{r_{Buyer}^K}{r_{Buyer}^A} \quad (9)$$

공급자의 공급단가가 고정되어 있을 경우, 역경매를 이용한 수요할당 메커니즘의 결과는 항상 동일하기 때문에 이를 최소 기준으로 적합도를 평가할 수 있다. 다시 말해서, 최소한 역경매를 이용한 메커니즘보다 더 좋은 성능을 보이는 해가 선택될 수 있도록 적합도 함수를 설계하였다. 적합함수의 첫 번째 부분은 전체 수요량이 모두 할당될 수 있도록 하기 위한 요소이며, 두 번째는 경매를 이용한 방식에 비해 전체 공급자의 평균 수익-비용 비율이 높아질 수 있도록 하기 위한 요소이다. 마지막은 구매자의 효율-비용 비율을 높이기 위한 요소

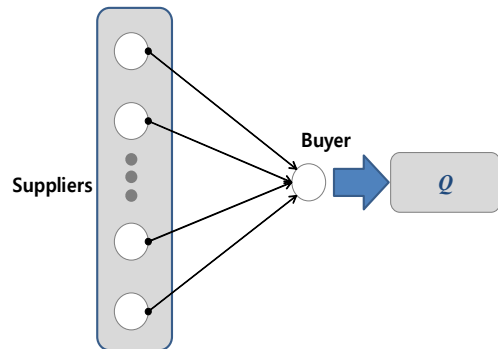
이다. 이 적합도함수는 유전자의 교배와 변이를 통해 새롭게 생성된 유전자가 전체 공급망의 효율성을 높일 수 있는 지 여부를 판단하는데 사용되며, 또한 유전알고리즘의 반복 수행 과정의 종료 여부를 결정하게 된다.

5. Numerical Experiment

본 장에서는 연구에서 제안하는 공정성 기반의 수요 할당 메커니즘의 실제 적용 방법과 그 결과를 간단한 실험을 통해 보여준다. 실험을 위한 공급망 모델은 일반성을 잃지 않는 범위 내에서 최대한 단순화하였으며, 무작위성으로 인해 발생할 수 있는 오류를 제거하기 위해 반복 실험을 통한 통계 분석을 수행하였다. 다음 두 절을 통해 실험의 설계와 그 결과에 대한 분석 및 토의 내용을 설명한다.

5.1 실험 설계

우선 본 실험에서 사용할 예제 공급망 구조는 아래 <Figure 3>과 같다.



<Figure 3> Structure of Example Supply Chain

실험의 단순화를 위해 단일 구매자와 다수의 공급자로 구성된 단일 계층 공급망을 설계하였다. 전체 공급자의 수는 30개로, 단일 구매자가 시장에서 받은 수요의 양은 1,000 단위이며, 시장 판매 가격은 \$10.0으로 고정하였다. 단, 공급자의 효용함수를 결정하는 파라미터와 공급가는 일정 값으로 이루어진 집합에서 무작위로 선정되어 결정되도록 하였으며, 효용함수의 특성과 최소 요구량에서 설명한 바와 같이 생산에 필요한 비용과 판매 수익을 기준으로 최소 수요량을 얻을 수 있다. 또한 최대 공급량은 최소 수요량을 기준으로 무작위로 결정하였다. 이와 같이 실험을 위해 사용한 변수와 파라미터의 값은 아래 <Table 2>와 같이 정리할 수 있다.

무작위로 결정되는 공급자의 효용함수는 총 4개 변수가 가질 수 있는 각 10개 값의 조합으로 구성되므로, 반복 실험을 통해 무작위로 선정된 공급자 구성에 따른 위험은 제거할 수 있다. 즉, 다양한 공급자 집합을 무작위로 생성하여 실험에 활용함으로써, 일반화된 결론을 얻을 수 있게 된다. 이를 위해, 공급자 생성, PA를 이용한 수요할당 결과와 유전 알고리즘 및 KSBS를 바탕으로 한 수요할당 결과의 비교를 단위 실험으로 구성하고, 이를 30회 반복하였다. 두 메커니즘 간 정확한 성능 비교를 위해 제 4.2.1절에서 정의한

성능 평가 기준을 바탕으로 paired *t*-Test를 수행하였다.

개별 단위 실험에 유전 알고리즘을 적용하기 위해서 개체군의 크기(**P**)는 2,000, 최대 반복 횟수(T^{MAX})는 10,000회, 돌연변이 비율은 20%, 마지막으로 교배비율은 20%로 가정하였다. 마지막으로 유전자 변이의 반복을 종료할 것 인지를 결정하는 한계점(ϵ)은 0.1로 고정하였다. 따라서 적합도함수가 이 한계점 이상의 개선을 보이지 않는 경우 유전자 변이를 종료하게 된다.

5.2 결과 및 토의

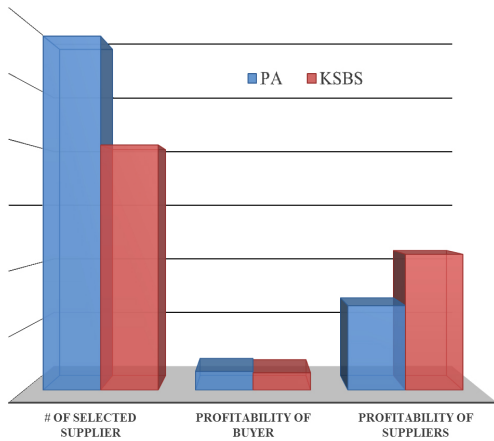
앞선 절에서 설명한 바와 같이 본 절에서는 PA와 KSBS 기반 수요할당 메커니즘의 성능 비교 분석을 위한 실험 결과에 대해 설명한다.

5.2.1 구매자와 공급자의 개별 비교

총 30회의 반복 실험을 한 결과를 종합하면 <Figure 4>와 같은 결과를 얻을 수 있다. 대그래프는 수요를 할당받은 공급자들의 평균 수, 그들의 평균 수익성과 구매자의 수익성을 PA를 이용하는 경우와 KSBS를 이용하는 경우로 나누어 보여준다.

<Table 2> Variables and Parameters for Experiments

Fixed Variables		Parameters for suppliers' profit functions										
Var.	Values	Var.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>m</i>	30	<i>p</i>	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9
<i>Q</i>	10,000	C_i^0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
<i>s</i>	10.0	ω	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1,000
ϵ	0.1	κ	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280



<Figure 4> Result of Profitability Comparison between PA and KSBS

본 연구에서 수행한 30회 반복 실험은 동일한 공급자들을 대상으로 수행한 것이 아니라 공급자의 효용함수와 최소·최대 요구량이 매회 무작위로 선정되는 경우를 가정하고 있으므로, 전체 실험 결과의 평균치를 기준으로 운영 효율성을 분석하는 것은 문제가 있다. 따라서 각 실험을 기준으로 PA를 이용하는 경우와 KSBS를 이용하는 경우를 쌍으로 지정하고, 쌍대 비교를 위해 수행한 paired *t*-Test의 결과는 아래 <Table 3>과 같이 정리할 수 있다.

위의 통계 분석 결과를 종합하면 다음과 같은 세 가지 결과를 얻을 수 있다.

5.2.1.1 전통적 PA를 이용한 방식이 더 많은 수의 공급자를 필요로 함

전통적인 차별적 수요할당 방식인 PA를 이용해 공급자에게 수요를 할당하는 경우가 구매 게임을 이용한 경우에 비해 상대적으로 더 많은 공급자를 필요로 한다고 말할 수 있다. 이는 구매자가 공급자를 선정할 때, 해당 공급자의 최대 공급 가능량을 기준으로 하지 않고, 제시한 가격을 기준으로 수요 할당량을 결정하기 때문이다. 이렇게 많은 수의 공급자를 대상으로 수요를 할당할 경우, 공급자를 관리하기 위한 비용뿐만 아니라 공급되는 제품에 대한 검수 등의 추가 비용이 발생하게 된다.

5.2.1.2 구매자 운영 효율성은 낮아짐

구매자의 수익성은 PA를 이용하는 경우에 비해 KSBS를 이용하는 경우가 더 낮아진다는 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 KSBS를 이용하게 되면 PA를 이용할 때의 공급단가와 판매가의 차액 수준을 보장할 수 없기 때문이다. 비록, 통계 검증의 결과를 통해 구매자의 입장에서는 항상 KSBS를 이용하는 경우가 불리하다고 결론을 내릴 수 있으나, 그 차이에 대해서는 다시 한 번 검토할 필요가 있다. 예를 들어, 95% 신뢰도 상한선의 값을 살펴보면 그 값이 상대적으로 다른 통계치에

<Table 3> Result of Paired *t*-Test

Criteria	# of suppliers (Auction-KSBS)	Profitability of Buyer (Auction-KSBS)	Average Profitability of suppliers (KSBS-Auction)
<i>t</i> -Value	12.58	13.59	8.92
<i>p</i> -value	0.000	0.000	0.000
95% Upper bound for mean difference	4.584	0.05817	2.026

비해 낮은 값을 보이고 있으며, 이는 KSBS를 이용하는 경우가 낮은 수익성을 보이기는 하지만 그 차이는 크지 않을 수 있음을 보여준다.

5.2.1.3 공급자 운영 효율성은 크게 향상됨

앞의 경우와 같은 방법으로 통계 분석 결과를 해석한다면, 공급자의 수익성은 PA를 이용하는 경우에 비해 KSBS를 이용하는 경우가 더 높게 나타난다고 말할 수 있다. 즉, 결과 (2)와 비교해보면, PA를 이용할 때 구매자가 얻을 수 있는 수익성의 일부를 포기함으로써 공급자의 전체 수익성을 향상시킬 수 있음을 보여준다.

위의 세 가지 결과를 종합해보면, 구매자의 수익 중 일정 부분을 포기하는 대신 수요를 할당받는 공급자 전체의 수익성을 높일 수 있다는 결론을 얻을 수 있다. 단, 현실적인 공급망 운영의 상황을 고려했을 때, 실제 구매자가 본인의 수익을 포기할 수 있는지에 대한 의문점이 발생한다. 따라서, 구매자가 공급망 내에서 가지는 역할에 따라 추가적으로 분석해볼 필요가 있다.

첫 번째로 구매자 역시 단순히 공급망을 구성하는 하나의 요소로 개별 구매자와 동일한 역할을 담당한다고 가정할 수 있으며, 이와 반대로 구매자의 의사결정이 전체 공급망의 운영을 결정하는 경우로 나눌 수 있다. 이 두 가지 경우에 따른 전체 공급망의 수익성이 어떻게 변화하는 지 다음 절에서 살펴본다.

5.2.2 전체 공급망 수익성 비교

앞선 절에서 설명한 바와 같이 전체 공급망의 수익성 개선 결과를 분석하기 위해서는

구매자를 공급망을 구성하는 하나의 구성 요소로만 바라볼 것인지, 아니면 전체 공급자 집합과 대응되는 하나의 요소로 인정할 것인지에 따라 그 결과가 다르게 나타날 것이다. 첫 번째의 경우는 공급망의 구조가 다수의 계층구조로 이루어져 있고, 구매자가 해당 계층에 존재하는 여러 구매자 중의 하나인 경우라 할 수 있다. 즉, 구매자 간 경쟁이 존재하는 경우라고 볼 수 있는 경우이다. 두 번째 경우는 구매자가 공급망의 하류 쪽에 위치해서 최종 소비자와 밀접한 관계를 가지며, 구매자의 의사 결정과 수익이 전체 공급망의 수익을 결정하는 경우라고 할 수 있다. 따라서, 이 두 가지 경우를 구분해서 전체 공급망 수익성을 비교 평가한다.

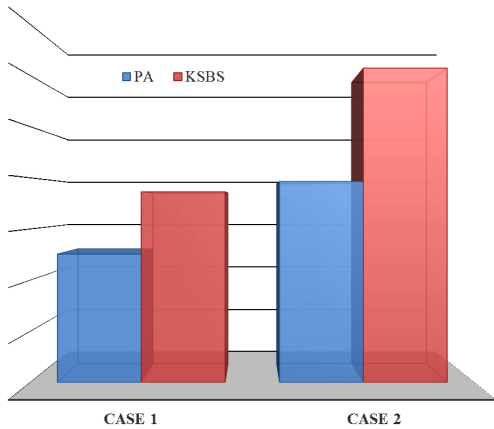
Case 1 : 구매자를 공급자 전체와 동일한 수준으로 비교 방법

구매자를 공급자 전체와 동일한 수준으로 비교하기 위해서는 앞서 측정된 구매자의 수익성과 공급자 전체 평균 수익성을 동일한 비율로 계산하여 공급망 전체 수익성을 평가한다.

Case 2 : 구매자를 개별 공급자와 동일한 수준으로 비교 방법

앞의 Case 1의 경우와 달리 구매자를 개별 공급자와 동등한 수준으로 계산할 경우, 선정된 공급자의 수와 평균 수익성을 곱하고 이를 구매자의 수익성과 합하여 전체 공급망의 수익성을 계산할 수 있다.

Case 1과 Case 2의 결과를 종합하면 다음 <Figure 5>로 나타낼 수 있다.



(Figure 5) Result of Profitability Comparison of Whole Supply Chain

제 5.2.1절과 같이 개별 실험에서 얻어지는 전체 공급망 수익성을 기준으로 paired t-Test를 수행한 결과는 다음 <Table 4>와 같다.

(Table 4) Result of Statistical Hypothesis Test in terms of Profitability of Whole Supply Chain

Criteria	(KSBS-Auction)	
	Case 1	Case 2
t-Value	8.77	8.89
p-value	0.000	0.000
95% Upper bound for mean difference	0.982	1.792

위 분석 결과를 바탕으로 공급망 전체 평균 수익성에 대한 통계 분석 결과를 종합했을 때에도 역시 KSBS를 이용하는 수요 할당 메커니즘이 전체 공급망을 운영하는 데 있어 더 큰 수익을 보장할 수 있다고 말할 수 있다. 다시 말하면, 구매자의 이익을 극대화하기 위해 공급자의 수익을 포기하게 만드는 것은 전체

공급망의 수익성이 향상시킬 수 없으며 장기적인 관점에서 공급망 전체의 경쟁력을 잃게 만드는 것이라는 것을 입증하는 결과라고 할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 공급망 내에서 수요를 할당하기 위해 전통적으로 사용되어 오던 경매와 같은 차별적 수요할당 메커니즘이 가지는 공급망 운영의 한계를 극복할 수 있는 방안으로 KSBS로 대표되는 비윤리적 공정성을 보장하는 메커니즘을 제안하였다. 실제 게임 참여자들 간 공정성을 보장하는 메커니즘(KSBS)이 공급망 전체의 수익성을 향상시킬 수 있는 지 여부와 그 효과를 측정하기 위해 수익-비용 비율이라는 정량적 지표와 함께 두 메커니즘들을 비교하기 위한 절차를 설계하였다. 제안하는 메커니즘의 실제 적용 가능성과 효과성을 입증하기 위해서 간단한 예제 공급망을 대상으로 실험을 진행하였으며, 일반성을 잃지 않기 위해 각 공급자의 예산과 그에 따른 최대 공급량 및 효용함수를 임의로 구성된 반복 실험을 수행하였고, 역경매 방식을 적용했을 때와의 정확한 비교 분석을 위해 paired t-Test를 수행하였다. 이를 통해 본 연구에서 제안하는 메커니즘이 전통적인 수요할당 방식에 비해 공급망의 운영 효율성을 개선할 수 있음을 증명하였다.

이 결과는 단순히 구매자의 이익을 극대화하기 위해 공급자의 수익을 감소시키는 전략이 전체 공급망의 수익성을 높이는 데 도움이 되지 못한다는 사실을 증명하는 것

으로, 최근 공급망 운영 효율성 향상을 위해 활용되고 있는 CPFR이나 VMI 등의 협업 전략의 도입 필요성을 증명한다고 할 수 있다. 또한 본 연구에서 실험 대상으로 다룬 예제 공급망의 구조가 단일 계층 구조를 가졌하였으나, 실제 공급망은 다층구조를 가지는 것이 일반적이므로, 본 연구에서 제안하는 메커니즘의 도입효과는 공급망의 구조가 더욱 복잡해질 수록 더욱 극대화된다고 말할 수 있다.

그러나 본 연구에서 제안한 수요할당 메커니즘이 현실적으로 적용되기에는 몇 가지 연구의 한계점이 존재한다. 특히 공급망 전체의 수익성을 높이기 위해서는 구매자가 일정 부분의 수익성을 포기해야만 하는데 단일 기업의 보유한 공급망 혹은 공급망 내 구매자의 지위가 공급자에 비해 우월하지 않은 경우에만 국한되어 적용할 수 있는 가정이다. 그리고 다양한 수요할당 메커니즘 중 차별적 할당 방식인 경매 방식만을 비교 대상으로 분석하였으나 수익 공유(Revenue Sharing)와 같이 현장에서 활용되고 있는 복합적인 수요할당 메커니즘을 포함한 비교가 필요하다. 이와 함께 본 연구에서 가정한 고정 공급 단가는 할당된 수요의 양에 따른 함수의 형태로 공급자의 수익 함수에 반영하는 방향으로 연구를 확장할 필요가 있다.

References

- [1] Aissaoui, N., Haouari, M., and Hassini, E., "Supplier selection and order lot sizing modeling : A review," *Computers & Operations Research*, Vol. 34, No. 12, pp. 3516-3540, 2007.
- [2] Binmore, K., *Fun and Games : A Text on game theory*, 1992, Lexington, Massachusetts : D. C Heath and Company.
- [3] Borağan Aruoba, S., Rocheteau, G., and Waller, C., "Bargaining and the value of money," *Journal of Monetary Economics*, Vol. 54, No. 8, pp. 2636-2655, 2007.
- [4] Boyd, S. and Vandenberghe, L., *Convex optimization*, 2004, New York, US : Cambridge Univ. Press.
- [5] Chan, F., Chung, S., and Choy, K., "Optimization of Order Fulfillment in Distribution Network Problems," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 17, No. 3, pp. 307-319, 2006.
- [6] Chan, F. T. S., Chung, S. H., and Wadhwa, S., "A heuristic methodology for order distribution in a demand driven collaborative supply chain," *International Journal of Production Research*, Vol. 42, No. 1, pp. 1-19, 2004.
- [7] Che, Z. H. and Wang, H. S., "Supplier selection and supply quantity allocation of common and non-common parts with multiple criteria under multiple products," *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 55, No. 1, pp. 110-133, 2008.
- [8] Chen, Y.-J., "Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain," *Information Sciences*, Vol.

[1] Aissaoui, N., Haouari, M., and Hassini, E., "Supplier selection and order lot sizing

- 181, No. 9, pp. 1651-1670, 2011.
- [9] Cruz, J. M. and Liu, Z., "Modeling and analysis of the multiperiod effects of social relationship on supply chain networks," *European Journal of Operational Research*, Vol. 214, No. 1, pp. 39-52, 2011.
- [10] Demirtas, E. A. and Ö. Üstün, "An integrated multiobjective decision making process for supplier selection and order allocation," *Omega*, Vol. 36, No. 1, pp. 76-90, 2008.
- [11] Faez, F., Ghodsypour, S. H., and O'Brien, C., "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, pp. 395-408, 2009.
- [12] Gheidar Kheljani, J., Ghodsypour, S. H., and O'Brien, C., "Optimizing whole supply chain benefit versus buyer's benefit through supplier selection," *International Journal of Production Economics*, Vol. 121, No. 2, pp. 482-493, 2009.
- [13] Houba, H., Tieman, X., and Brinksma, R., "The Nash- and Kalai-Smorodinsky Bargaining Solution for Decision Weight Utility Functions," in *Game Theory and Information* 1996.
- [14] Kawtummachai, R. and Van Hop, N., "Order allocation in a multiple-supplier environment," *International Journal of Production Economics*, Vol. 93-94, pp. 231-238, 2005.
- [15] Liu, W.-H., Xu, X.-C., Ren, Z.-X., and Peng, Y., "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, pp. 391-400, 2011.
- [16] Mafakheri, F., Breton, M., and Ghoniem, A., "Supplier selection-order allocation : A two-stage multiple criteria dynamic programming approach," *International Journal of Production Economics*, Vol. 132, No. 1, pp. 52-57, 2011.
- [17] Park, H. and van der Schaar, M., "Bargaining Strategies for Networked Multimedia Resource Management," *IEEE Transaction on Signal Processing*, Vol. 55, No. 7, pp. 3496-3511, 2007.
- [18] Sanayei, A., Farid Mousavi, S., Abdi, M. R., and A. Mohaghar, "An integrated group decision-making process for supplier selection and order allocation using multi-attribute utility theory and linear programming," *Journal of the Franklin Institute*, Vol. 345, No. 7, pp. 731-747, 2008.
- [19] Tuffin, B., "Revisited Progressive Second Price Auction for Charging Telecommunication Networks," *Telecomm, Sys.* Vol. 20, No. 3, pp. 255-263, 2002.
- [20] Vonderembse, M. A. and Tracey, M., "The Impact of Supplier Selection Criteria and

Supplier Involvement on Manufacturing Performance,” *Journal of Supply Chain Management*, Vol. 35, No. 3, pp. 33-39, 1999.

- [21] Xia, W. and Wu, Z., “Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments,” *Omega*, Vol. 35, No. 5, pp. 494-504, 2007.
- [22] Yücel, A. and Güneri, A. F., “A weighted

additive fuzzy programming approach for multi-criteria supplier selection,” *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 5, pp. 6281-6286, 2011.

- [23] Zhang, L., The Efficiency and Fairness of a Fixed Budget Resource Allocation Game, in *Automata, Languages and Programming*, L. Caires, et al., Editors. 2005, Springer Berlin Heidelberg. pp. 485-496.

저 자 소 개



KwangSup Shin (E-Mail : ksshin@incheon.ac.kr)
2012 Seoul National University (Ph.D in Operations Management)
2012~Current Assistant Professor, Incheon National University
Research Interest Supply Chain, Advanced Analytics, Open Innovation,
Cloud Computing, Process Management and Optimization,
Game Theory