

동적 전자경매 환경에서의 최적 구매주문 할당

임석철^{1*} · 이상원¹ · 김현수²

¹아주대학교 산업정보시스템공학부 / ²경기대학교 산업공학전공

Optimal Allocation of Purchase Orders in Dynamic Bidding

Suk-Chul Rim¹ · Sang-Won Lee¹ · Hyun-Soo Kim²

¹Division of Industrial & Information Systems Engineering, Ajou University, Suwon 443-749

²Major of Industrial Engineering, Kyonggi University, Suwon 442-760

Highly standardized products are suitable for automated purchasing using electronic commerce technology, where the price becomes the most important factor. Suppliers can change the prices dynamically based on the inventory level and market situation in order to maximize the sales and profit. In the virtual marketplace where multiple customers purchase multiple standardized products from multiple suppliers repetitively, customers can purchase the required amount of each item as a dynamic bidding by allocating purchase orders to the suppliers based on the current price. Customers need a method to quickly determine the optimal allocation of orders to the suppliers using the dynamically changing data to minimize the total cost. We present a LP model which minimizes the sum of the total price plus transportation cost for this problem. Simulation results using random data show meaningful reduction of the total cost.

Keywords: Purchase Order Allocation, Dynamic Bidding, Multiple Sourcing

1. 서론

제조업에서 원재료, 부품이나 구성품 등을 포함하는 구매비용이 매출액에서 차지하는 비중은 대부분의 산업에서 50% 이상을 차지하고 있으며(U.S. Census Bureau, 2002), 유통업에서는 약 80%까지 차지한다. 이는 기업이 필요한 구매품을 어떤 공급자로부터 얼마나 구매해야 하는지를 결정하는 것이 기업의 수익성에 매우 중요함을 의미한다(Moore and Fearson, 1973). 이 주제에 대하여 수많은 연구가 수행되었으며, 이들은 크게 두 그룹으로 분류될 수 있다.

첫 번째 그룹은 single sourcing, 즉 품질, 가격 및 배송 등의 관점에서 가장 적합한 단일 공급자를 어떻게 선정할 것인가에 대한 연구이다. Single sourcing의 장점은 단일 공급자에게 공급물량을 몰아줌으로써 규모경제에 따른 비용감소와 품질개선이 가능하다는 점이다. 반면에 single sourcing의 심각한 단점은 단일 공급자가 정시공급(on-time delivery)에 실패할 경우 다

른 대안이 없어 심각한 생산 차질이 발생한다는 점이다. Moore and Fearson (1973)은 공급자 선정에 관한 초기 연구로서 공급자 선정의 핵심 척도로 가격, 품질, 그리고 속도를 제시하였다. Anthony and Buffa(1977)는 예산, 공급능력 및 수요를 제약으로 고려하는 전략적 구매 스케줄링 모델을 제안하였다. Park and Krishnan(2001)은 한국과 미국의 공급자 선정에 관한 차이점을 연구하여 유의한 차이를 발견했다. Kim and Kim(2003)은 한국 전자산업에서 공급자 선정 척도의 관련 중요성을 분석하기 위해 AHP(Antalytic Hierarchy Process)기법을 적용하였다.

두 번째 그룹은 multiple sourcing, 즉 다수의 공급자로부터 구매하는 문제에 관한 연구결과들이다. Pan(1989)은 최적 공급자 수를 결정하고, 선정된 공급자에게 주문을 최적으로 분배하는 선형계획 모델을 개발했다. 제안된 선형계획 모델은 품질, 시간, 그리고 서비스 수준을 만족시켜야 하는 제약을 가지고 총 구매비용을 최소화하였다. Seshadri 등(1991)은 비용만을 고려하는 multiple sourcing의 확률적 모델을 발표하였다.

* 연락처 : 임석철 교수, 443-749 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5번지 아주대학교 공과대학 산업정보시스템공학부,

Fax : 031-219-1610, E-mail : scrim@ajou.ac.kr

2006년 12월 접수; 2007년 04월 수정본 접수; 2007년 04월 게재 확정.

Ghodsypour and O'Brien(1998)은 AHP기법을 사용하여 가장 적절한 공급자를 정량적으로 선정하고, 선정된 공급자에게 정성적으로 주문을 할당하는 의사결정 지원시스템을 개발하였다. 그들은 또한 능력계약 상황 아래서 수송비용, 주문비용, 그리고 보관비용을 포함하는 총 비용을 최소화하는 혼합정수계획 모델을 발표하였다.

최근에는 Kawtummachai and Van Hop(2005)이 정시배달 능력과 가격을 기반으로 하는 다수 공급자에게 주문을 분배하여 총 비용을 최소화하는 알고리즘을 소개하였다. 이들이 적용한 주문정책은 각 제품에 대하여 적어도 총 주문량의 10%는 사전에 선정된 공급자에게 할당하고, 주문의 90% 이상은 다음날 배달이 되도록 하였다. Jeong *et al.*(2000)은 자동차 부품산업에서 공급자 선정을 위한 의사결정 시스템을 소개했다. AHP를 사용하여 공급자를 선정하고, 선택된 공급자들에게 주문을 할당하는 선형계획 모델을 통합하였으며, 가격할인이 적용된 상황에서 재고비용과 구매비용 사이의 trade-off에 관하여 연구하였다. Jeong and Lee(2001)은 정량적 요인(profitability and relationship)과 정성적 요인을 포함하는 다양한 범주를 기반으로 하는 공급자 선정모델을 제시하였다.

본 연구에서 다루는 문제는 multiple sourcing에 속하는 문제로서 인터넷과 전자상거래가 보편화되고 있는 오늘날의 비즈니스 환경에서 새롭게 태동되는 동적 전자경매 환경에서 구매주문을 여러 공급자에게 최적으로 결정하는 문제이다. 동적(dynamic) 환경이란 공급자가 자신의 재고 보유량 변화 등에 따라 구매자에게 제시하는 제품별 단가를 수시로 변경하는 환경을 의미한다. 단가와 납품 가능한 총 수량 등의 변화하는 데이터를 정보시스템에서 자주 갱신하는 일은 과거에는 많은 비용과 시간이 소요되는 일이었으나, 1980년대부터 기업에 ERP 솔루션이 도입되고 인터넷 기반의 기업 간 통신망이 보편화되면서 이러한 데이터의 제공 및 실시간 공유는 오늘날 매우 적은 비용으로 운영이 가능하게 되었다.

2. 문제정의

본 논문에서는 여러 구매자가 다수의 공급자로부터 여러 종류의 제품을 동적 전자경매 환경하에서 반복적으로 구매하는 문제를 다루며, 다음과 같이 가정한다. 각 제품에 대하여 품질, 서비스 및 배송에 관한 고객의 요구사항을 만족하는 공급자가 다수 존재하고 있다. 구매자의 일별 제품별 수요는 확정적이며, 각 공급자의 각 제품에 대한 가용 재고량은 시간이 흐름에 따라 변화한다. 전자경매가 이루어지는 시점에 각 공급자는 EDI(Electronic Data Interchange)를 통하여 제품별 현재 단가와 납품가능 수량 데이터를 실시간으로 여러 구매자에게 제시한다. 단가는 자사의 재고 상황, 포장단위, 잔량 소진, 향후 수요 전망 등을 고려하여 공급자가 수시로 결정한다. 표준제품에 대한 소량 다빈도 주문방식이기 때문에 주문량에 따른 가격

할인은 없다. 구매자의 제품별 수요량은 모든 공급자로부터의 해당제품 가용량(available quantity)의 총합보다 작아 back order는 발생하지 않는다. 제품의 운송을 위해서 공급자는 부피 및 무게 용량이 상이한 몇 종류의 트럭을 사용할 수 있다. 이러한 데이터를 사용하여 구매자는 여러 공급자에게 수시로 복수의 제품에 대해 발주한다.

공급자는 구매자가 발주한 제품별 수량을 해당 구매자에게 트럭으로 운송해야 한다. 본 연구에서 고려하는 상황은 반복적인 구매이므로 구매 리드타임이 매우 짧아 공급자는 운송물량을 트럭으로만 구매자에게 직송해야 하며, 혼적이나 택배 등의 여타 운송방법은 시간적인 제약 때문에 사용할 수 없다.

일반적으로 운송비는 판매단가에 이미 포함된 경우가 많지만 본 연구에서 다루는 동적 전자경매환경에서는 비용구조를 보다 엄밀하게 파악하기 위해 운송비를 공급자가 아닌 구매자가 별도로 운송사에 지불한다. 본 논문에서 다루는 문제는 공급자가 제시하는 제품단가와 트럭의 사용단가, 그리고 제품별 가용량을 고려하여 구매자가 당일의 제품별 구매량을 최소의 총비용으로 구매하기 위해 제품별 공급자 및 구매량을 결정하는 문제이다.

만일 구매자가 제품의 단가만을 고려하여 공급자와 공급량을 선정한다면 어떤 공급자에게는 소량의 주문만이 발주되어 트럭의 용량에 비해 이용률(utilization)이 매우 낮아져 결과적으로 총 비용은 증가하는 경우가 발생할 수 있다. 반대로, 제품단가가 다소 비싸더라도 각 공급자에게 배정되는 주문량이 트럭의 무게용량 및 부피용량을 고려하여 트럭 이용률이 높도록 할당한다면 총비용은 오히려 감소할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 두 가지 구매정책을 대상으로 총비용을 비교한다.

2.1 단가기준 구매(Price-based Purchasing)

단가기준 구매(Price-Based Purchasing)란 각 제품에 대하여 가장 낮은 단가를 제시한 공급자의 순서대로 구매량을 충족시킬 때까지 각 공급자의 가용량 안에서 주문을 할당하는 정책이다. 이 정책을 따르면 제품의 구매비용은 최소가 되지만 트럭의 이용률에 따라 수송비용이 증가할 수 있다. 사용가능한 트럭이 1톤 트럭, 2.5톤 트럭 및 5톤 트럭인 경우에 특정 공급자에 대한 단가기준 구매정책의 주문할당 알고리즘은 다음과 같다.

Step 1. (Initialization)

각 제품에 대하여 공급자가 제공하는 가격을 기준으로 공급자를 오름차순으로 정렬한다. 모든 제품에 대하여 반복 시행한다.

Step 2. (Allocation of the Order Quantities)

각 제품에 대하여 최저 단가를 제시한 업체부터 주문을 할당한다. 최저 단가를 제시하는 공급자로부터의 공급능력 부족

으로 인해 필요한 주문량을 모두 공급받지 못할 경우, 다음으로 낮은 단가를 제시한 공급자에게 주문을 할당하여 필요한 주문량만큼의 주문이 할당될 때까지 이를 반복한다.

Step 3. (Determining the type and number of Trucks)

특정 공급자로부터 공급받는 제품의 총 무게와 총 부피를 계산한다. 제품의 총 무게가 5톤이 넘는 경우, 적재 잔량이 5톤 미만인 될 때까지 5톤 트럭에 적재한다. 적재 잔량이 2.5톤 이상이면 5톤 트럭 1대를 추가로 할당한다. 그러나 잔량이 2.5톤과 1톤 사이 값인 경우에는 2.5톤 트럭 1대를, 1톤 이하인 경우 1톤 트럭 1대를 할당한다. 이렇게 하는 이유는 일반적으로 5톤 트럭 1대를 사용하는 것이 2.5톤 트럭 2대를 사용하는 것보다 총 운송비용이 작기 때문이다.

무게를 기준으로 할당이 완료되면 할당된 트럭들의 총 적재(부피)용량이 운송대상 제품의 총 부피보다 같거나 큰 경우에는 무게 제약과 부피 제약을 모두 만족하므로 이 공급자로부터 제품을 수송하기 위한 차량할당이 완료된다. 그러나 그렇지 않은 경우에는 부피 제약으로 인한 추가적인 차량 배정이 필요하다. 부피제약을 만족시키기 위해 초과부피(= 총 제품부피 - 총 트럭부피용량)를 계산한다. 초과부피가 5톤 트럭의 부피 용량(V5)을 넘는 경우, 초과부피 잔량이 V5미만이 될 때까지 5톤 트럭을 추가로 배정한다. 초과부피 잔량이 2.5톤 트럭의 부피용량(V2.5)을 초과하면 5톤 트럭 1대를 추가로 배정한다. 그러나 초과부피 잔량이 V2.5와 V1 사이 값인 경우에는 2.5톤 트럭 1대를, V1 이하인 경우 1톤 트럭 1대를 추가로 배정한다. Step.3를 모든 공급자에 대하여 차례로 수행한다.

2.2 균형 구매 (Balanced purchasing)

앞 절에서 서술한 단가기준 구매정책은 제품별로 제시단가가 가장 낮은 공급자부터 차례로 구매하기 때문에 공급자별 총 공급물량에 따른 운송비 부담에 대한 고려는 전혀 이루어지지 않는다. 그 결과로 각 공급자의 공급물량이 운송트럭의 적재용량에 비추어 비효율적으로 배정되는 경우가 발생할 수 있다. 이에 대한 대안으로서 균형구매(Balanced purchasing) 정책은 각 공급자로부터 발생하는 제품비용과 운송비용의 합이 최소화되도록 주문을 균형있게 할당하여 총 비용을 최소화하는 정책이다.

전통적으로 운송비용은 공급제품의 단가에 미리 개략적으로 반영되어 있기 때문에 구매자는 일반적으로 구매과정에서 운송비용은 별도로 고려하지 않는다. 그러나 본 연구에서 다루는 동적 전자경매환경에서는 비용구조를 보다 엄밀하게 구분하기 위해 운송비를 공급자가 아닌 구매자가 별도로 운송사에 지불하는 경우이므로 위에서 언급한 단가중심의 구매가 지속적으로 발생한다면 운송비용의 증가는 구매자의 수익성에 나쁜 영향을 미치게 될 것이다.

제품의 단가 및 가용량, 그리고 트럭의 종류별 사용비용과

같은 자료를 실시간으로 공급자가 구매자에게 제시한다는 것이 비현실적으로 보일지 모르나, 인터넷 기반의 전자상거래와 기업정보시스템 사용이 확산됨에 따라 이러한 정보의 공유를 위한 비용은 급격하게 감소하고 있기 때문에 앞에서 언급한 동적 전자경매 모델은 global sourcing 환경에서 표준화된 품목에 대해서는 충분히 현실성이 있다고 판단된다.

3. 선형계획 모델링

본 장에서는 앞서 언급된 문제를 수식화하기 위하여 다음과 같은 표기법(notation), 의사결정변수 및 모수를 사용한다.

① 구매 관련 모수

- j : 제품 색인(index), $j = 1, 2, 3, \dots, J$.
- i : 공급자 색인, $i = 1, 2, 3, \dots, I$.
- d_j : 제품 j 의 급회 수요량
- a_{ij} : 공급자 i 의 제품 j 의 가용량
- $a_j = \sum_{i=1}^I a_{ij}$: 제품 j 의 총 가용량
- p_{ij} : 공급자 i 가 제시하는 제품 j 의 단가
- \bar{p}_j : 모든 공급자가 제시하는 제품 j 의 평균단가

② 수송 관련 모수

- k : 트럭의 종류, $k = 1, 2, 3, \dots, K$.
- c_{ik} : 공급자 i 가 트럭 종류 k 를 사용시 비용
- v_j : 제품 j 의 부피(m^3)
- w_j : 제품 j 의 무게(kg)
- V_k : 트럭 종류 k 의 부피용량(m^3)
- W_k : 트럭 종류 k 의 무게용량(kg)

③ 의사결정변수

- X_{ij} : 공급자 i 로부터의 제품 j 구매량
- N_{ik} : 공급자 i 가 사용하는 트럭 종류 k 의 수

본 연구에서 가정 사항은 다음과 같다.

- 모든 공급자로부터 제품 j 의 총 공급가용량은 제품 j 의 수요를 항상 충족시킨다($d_j \leq a_j$).
- 트럭 종류별 가용 대수의 제한은 없다.
- 대량주문에 의한 가격할인은 없다.
- 부피와 무게 제약은 각 공급자가 할당받은 주문품의 총 무게 및 총 부피가 각 공급자가 사용하는 트럭 전체의 총 부피와 총 무게를 각각 초과하지 않으면 차량별 부피와 무게 제약은 만족한다.

본 논문의 목적은 제품비용과 운송비용의 합으로 정의되는 총비용을 최소화하는 주문 할당을 결정하는 것이다. 이 문제

는 다음과 같이 선형계획(Linear Programming) 문제로 모형화 될 수 있다.

$$\text{Minimize } Z = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I X_{ij} p_{ij} + \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I N_{ik} c_{ik} \quad (1)$$

subject to

$$X_{ij} \leq a_{ij} \text{ for all } i \text{ and } j \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} = d_j \text{ for all } j \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ij} v_j \leq \sum_{k=1}^K N_{ik} V_k \text{ for all } i \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ij} w_j \leq \sum_{k=1}^K N_{ik} W_k \text{ for all } i \quad (5)$$

$$X_{ij} \geq 0 \text{ for all } i \text{ and } j \quad (6)$$

$$N_{ik} \geq 0 \text{ for all } i \text{ and } k \quad (7)$$

$$X_{ij}, N_{ik}: \text{ integer for all } i, j \text{ and } k \quad (8)$$

목적함수 (1)은 총 제품구매가와 총 운송비의 합을 최소화 하는 것이다. 제약식 (2)는 각 제품에 대하여 구매자는 각 공급자로부터 그의 가용량 만큼만 구매할 수 있음을 의미한다. 식 (3)은 구매자가 제품별로 총 수요량 만큼만 구매하며, 잔량재고나 back order는 허용하지 않음을 나타낸다. 식 (4)와 식 (5)는 각 공급자가 사용하는 트럭의 총부피 및 총무게가 해당 공급자에게 할당된 주문의 총부피 및 총무게보다 작지 않아야 함을 나타낸다. 식 (6) 및 식 (7)은 비음(nonnegative) 제약이고, 식 (8)은 정수 제약이다.

4. 수치예제

본 장에서는 수치예제를 통해 제 3장의 알고리즘을 명확히 설명하고자 한다. 구매자는 품목별 1일간의 수요량을 충족시키기 위해 7개의 공급자로부터 5개의 다른 제품을 매일 밤 업무 마감시에 발주하고, 익일 개점 직전에 입고가 완료된다. 제품은 박스 형태로 공급되며, 박스의 가로, 세로, 높이는 각각 0.5미터와 1.0미터 사이의 일양(uniform)분포를 따른다. 모수는 다음과 같다.

- d_j : uniform(25 box, 150 box) for all j
- a_j : uniform($2d_j, 4d_j$) for all j
- a_{ij} : a_j 를 공급자들에게 무작위로 배분하여 a_{ij} 를 결정한다.
- \bar{p}_j : uniform(3만원, 10만원) for all j
- p_{ij} : uniform($0.8\bar{p}_j, 1.2\bar{p}_j$) for all i and j
- v_j : uniform($0.125 \text{ m}^3, 1 \text{ m}^3$) for all j
- w_j : uniform(20kg, 100kg) for all j
- c_{ik} : uniform($0.8c_k, 1.2c_k$) for all i and k

모든 공급자는 수송을 위해 세 가지의 서로 다른 종류의 트

럭을 사용할 수 있다($K=3$). <Table 1>은 트럭 종류별 평균 사용 비용 및 트럭의 최대 적재무게와 적재부피 용량을 나타낸다. <Table 2>은 특정 종류 트럭에 대해서 공급자마다 특정 시점에서 사용비용을 표준가격의 80%와 120% 사이에서 임의로 발생시켰다. <Table 3>에서 공급자별 제품별 제시가격(p_{ij})도 제품별 표준가격(\bar{p}_j)의 80%와 120% 사이에서 임의로 발생시켰다.

단가기준 구매정책을 위한 경험적 알고리즘은 Visual C 6.0을 사용하여 프로그래밍 하였고, 균형구매정책을 위한 LP모형은 ILOG의 CPLEX 9.0을 사용하였다. 위 예제에 대한 두 정책의 결과는 <Table 4>와 <Table 5>에 정리하였다.

Table 1. Data for trucks

| | 1 ton | 2.5 ton | 5 ton |
|--------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Volume capacity(V_k) | 10m ³ | 25m ³ | 50m ³ |
| Weight capacity(W_k) | 1,000kg | 2,500kg | 5,000kg |
| Trucking cost(c_k) | 200,000won | 350,000won | 500,000won |

Table 2. Trucking cost of each supplier

(Unit : won)

| | Supplier | 1 ton | 2.5 ton | 5 ton |
|----------------------------|----------|---------|---------|---------|
| Trucking cost (c_{ik}) | 1 | 234,000 | 347,000 | 475,000 |
| | 2 | 216,000 | 354,000 | 500,000 |
| | 3 | 204,000 | 312,000 | 510,000 |
| | 4 | 195,000 | 344,000 | 550,000 |
| | 5 | 187,000 | 291,000 | 435,000 |
| | 6 | 235,000 | 400,000 | 590,000 |
| | 7 | 223,000 | 383,000 | 542,000 |

Table 3. Data set for the numerical example

| | Supplier | Item | | | | |
|---|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Demand(d_j) | | 33 | 27 | 37 | 26 | 22 |
| Available quantity of supplier (a_{ij}) | 1 | 22 | 8 | 31 | 14 | 13 |
| | 2 | 9 | 19 | 21 | 26 | 5 |
| | 3 | 22 | 7 | 11 | 11 | 1 |
| | 4 | 13 | 12 | 17 | 24 | 25 |
| | 5 | 14 | 14 | 14 | 11 | 7 |
| | 6 | 15 | 15 | 21 | 4 | 9 |
| | 7 | 16 | 7 | 3 | 5 | 8 |
| Total avail. (a_j) | | 111 | 82 | 118 | 95 | 68 |
| Avg. price (\bar{p}_j) | | 9,600 | 5,700 | 8,800 | 23,800 | 8,300 |
| Offered price (p_{ij}) | 1 | 9,400 | 6,800 | 8,700 | 27,500 | 8,000 |
| | 2 | 8,900 | 4,500 | 9,700 | 24,600 | 8,700 |
| | 3 | 11,100 | 5,200 | 7,700 | 20,300 | 7,000 |
| | 4 | 8,100 | 5,100 | 8,400 | 26,600 | 8,600 |
| | 5 | 9,300 | 6,400 | 9,800 | 21,700 | 9,500 |
| | 6 | 10,700 | 4,800 | 8,000 | 28,200 | 9,600 |
| | 7 | 8,600 | 5,800 | 7,100 | 26,900 | 7,800 |
| Volume (v_j) | | 0.7394 | 0.6822 | 0.3870 | 0.8733 | 0.1094 |
| Weight (w_j) | | 39 | 76 | 31 | 58 | 63 |

Table 4. Heuristic solution from price-based purchasing

| Supplier | Purchasing quantity per item (X_{ij}) | | | | | Total purchasing | | Trucks used (N_{ik}) | | |
|----------|---|----|----|----|----|------------------|--------|--------------------------|---------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Volume | Weight | 1 ton | 2.5 ton | 5 ton |
| 1 | | | | | 13 | 1.4222 | 819 | 1 | | |
| 2 | 4 | 19 | | 4 | | 19.4126 | 1,832 | | 1 | |
| 3 | | | 11 | 11 | 1 | 13.9727 | 1,042 | | 1 | |
| 4 | 13 | | 2 | | | 10.3862 | 569 | | 1 | |
| 5 | | | | 11 | | 9.6063 | 638 | 1 | | |
| 6 | | 8 | 21 | | | 13.5846 | 1,259 | | 1 | |
| 7 | 16 | | 3 | | 8 | 13.8666 | 1,221 | | 1 | |
| Total | 33 | 27 | 37 | 26 | 22 | 82.2512 | 7,380 | 2 | | 5 |

Table 5. Optimal solution from balanced purchasing

| Supplier | Purchasing quantity per item (X_{ij}) | | | | | Total purchasing | | Trucks used (N_{ik}) | | |
|----------|---|----|----|----|----|------------------|--------|--------------------------|---------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Volume | Weight | 1 ton | 2.5 ton | 5 ton |
| 1 | 22 | 8 | 31 | 14 | 13 | 47.3698 | 4,058 | | | 1 |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | |
| 4 | 4 | 5 | 6 | 1 | 3 | 9.8921 | 969 | 1 | | |
| 5 | 7 | 14 | | 11 | 6 | 24.9893 | 2,353 | | 1 | |
| 6 | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | |
| Total | 33 | 27 | 37 | 26 | 22 | 82.2512 | 7,380 | 1 | 1 | 1 |

<Table 6>은 두 정책의 총 비용을 비교한다. 주어진 예제에 대하여 균형구매정책의 총 비용은 단가기준 구매정책의 총 비용에 비하여 28.8%가 절감되는 큰 폭의 개선을 보이고 있다.

Table 6. Total cost under two policies (Unit: won)

| | Price-based | Balanced |
|---------------------|-------------|-----------|
| Product cost | 1,427,000 | 1,631,000 |
| Transportation cost | 2,214,000 | 961,000 |
| Total cost | 3,641,000 | 2,592,000 |

5. 성과 비교

5.1 평균 개선을

본 연구에서 제안하는 균형구매 정책이 단가기준 구매정책에 비하여 얼마나 총비용을 절감할 수 있는지 평균 성과를 추정해보기 위하여 본 장에서는 다음과 같이 시뮬레이션을 수행하였다. 다양한 환경을 검토하기 위해 두 가지 변수를 고려하

였다.

(1) 제품 수요의 네 가지 수준: 기간별 수요량이 25개와 50개 사이의 uniform 분포를 갖는 가장 낮은 수요수준부터 1,000개와 2,000개 사이의 uniform 분포를 갖는 가장 높은 수요수준까지 4개 등급을 고려하였다. 즉,

$$DL \rightarrow d_j : \text{uniform (25 box , 50 box) for all } j$$

$$DM_1 \rightarrow d_j : \text{uniform (50 box , 250 box) for all } j$$

$$DM_2 \rightarrow d_j : \text{uniform (250 box , 1000 box) for all } j$$

$$DH \rightarrow d_j : \text{uniform (1000 box , 2000 box) for all } j$$

(2) 단가분포의 세 가지 수준: 제품의 단가가 3,000원에서 30,000원 사이의 uniform 분포를 따르는 비교적 싼 제품으로부터 10만원에서 30만원 사이의 uniform 분포를 따르는 비싼 제품까지 세개 등급을 고려하였다. 즉,

$$P1 \rightarrow \bar{p}_j : \text{uniform(3천원 , 3만원) for all } j$$

$$P2 \rightarrow \bar{p}_j : \text{uniform(3만원 , 10만원) for all } j$$

$$P3 \rightarrow \bar{p}_j : \text{uniform(10만원 , 30만원) for all } j$$

이 두 가지로부터 총 12가지의 서로 다른 상황에 대하여 각각 10개의 data set을 임의로 발생시켜 총 120개의 문제를 대상으로 두 정책의 총비용을 비교하였다. 트럭에 대한 데이터는 <Table 2>과 동일하다. 앞서 제 2장 및 제 3장에서 제시한 방법으로 두 정책에 대한 총비용을 각각 구하여 단가기준 구매정책 대비 균형구매정책 적용으로 인한 개선율을 요약하면 <Table 7> 및 <Figure 1>과 같다.

Table 7. Average improvement rate of total cost under new policy over price-based policy for 12 test problems (%)

| Demand Price | DL | DM ₁ | DM ₂ | DH |
|--------------|-------|-----------------|-----------------|------|
| P1 | 24.28 | 8.78 | 5.18 | 2.96 |
| P2 | 4.55 | 1.39 | 0.74 | 0.47 |
| P3 | 1.54 | 0.62 | 0.32 | 0.13 |

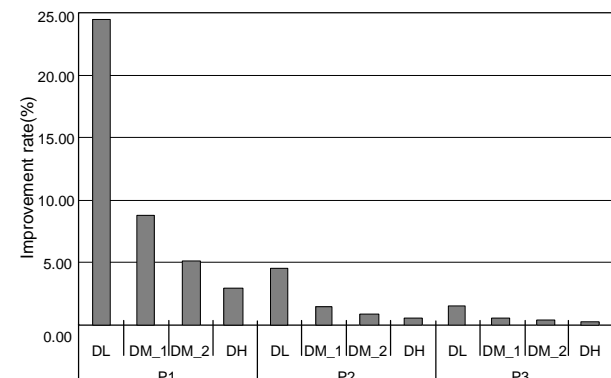


Figure 1. Average improvement rate (%) of total cost under new policy over price-based policy for 12 test problems

<Figure 1>에서 보듯이 제품의 평균단가가 쌀수록, 그리고 기간별 수요량이 작을수록 평균 개선율은 큰 것으로 나타났다. 특히 단가도 싸고 수요량도 작은 경우에는 단가기준 구매 정책보다 균형구매정책을 사용함으로써 총비용이 평균 24%나 감소하는 것으로 나타났다.

5.2 모델의 유효성 지수

<Figure 1>에서 몇몇 경우에는 본 연구에서 제시한 균형구매 정책을 사용하여 얻은 개선효과가 미미하다. 즉, 이러한 다소 복잡한 모형을 적용하기 전에 이 상황이 균형구매정책을 적용하여 의미있는 개선효과를 얻을 수 있는 상황인지를 먼저 판정할 수 있는 임계치(critical value)를 제시하는 것이 도움이 될 것이다. 가능한 임계치로는 운송비 대비 제품 추가가격의 비율을 생각할 수 있다. 즉, 임계치 r을 운송비 대비 제품가의 비율로 식 (9)와 같이 정의한다.

$$r = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I X_{ij} p_{ij} / \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I N_{ik} c_{ik} \quad (9)$$

주어진 상황에서 단가 p_{ij}와 트럭운송료 c_{ik}를 사용하여 2.1절의 단가기준 구매 알고리즘을 사용하여 <Table 4>와 같이 제품별 구매량 X_{ij}와 트럭 사용대수 N_{ik}를 쉽게 구하여 식 (9)로부터 임계치 r값을 계산할 수 있다. 이러한 방법으로 5.1절에서 설명한 120개의 경우에 대하여 각각 r값을 구하면 <Table 8>과 같고, r값과 개선율을 각각 X축과 Y축으로 하는 그래프 상에 120개의 경우를 그리면 <Figure 2>의 점들과 같다.

Table 8. R-value of the 120 test problems

| Price | P1 | | | | P2 | | | | P3 | | | |
|---------|------|-----------------|-----------------|------|------|-----------------|-----------------|-------|-------|-----------------|-----------------|-------|
| | DL | DM ₁ | DM ₂ | DH | DL | DM ₁ | DM ₂ | DH | DL | DM ₁ | DM ₂ | DH |
| data 1 | 0.89 | 1.09 | 1.83 | 1.55 | 5.63 | 10.91 | 10.13 | 12.95 | 14.60 | 18.98 | 25.64 | 26.09 |
| data 2 | 0.69 | 1.12 | 1.46 | 1.70 | 5.13 | 9.56 | 11.19 | 11.16 | 12.27 | 20.52 | 23.39 | 24.95 |
| data 3 | 0.76 | 1.27 | 1.81 | 1.74 | 5.81 | 10.13 | 11.92 | 11.58 | 13.00 | 20.92 | 27.15 | 25.26 |
| data 4 | 0.64 | 1.14 | 1.79 | 1.67 | 4.57 | 10.56 | 10.97 | 12.57 | 10.65 | 19.78 | 26.42 | 26.80 |
| data 5 | 0.83 | 1.27 | 1.27 | 1.73 | 5.56 | 10.88 | 11.42 | 12.48 | 15.33 | 21.28 | 21.63 | 26.99 |
| data 6 | 0.72 | 1.87 | 1.78 | 1.76 | 5.60 | 9.68 | 10.11 | 11.93 | 13.45 | 24.01 | 24.34 | 27.29 |
| data 7 | 0.72 | 1.44 | 1.40 | 1.74 | 5.02 | 8.76 | 11.09 | 11.50 | 12.21 | 20.68 | 23.98 | 24.98 |
| data 8 | 0.70 | 1.28 | 1.45 | 1.65 | 5.48 | 9.64 | 11.86 | 12.82 | 13.45 | 21.20 | 24.61 | 27.76 |
| data 9 | 0.73 | 1.35 | 1.28 | 1.89 | 5.57 | 10.09 | 9.65 | 12.16 | 13.39 | 20.81 | 21.45 | 28.10 |
| data 10 | 0.79 | 1.00 | 1.23 | 1.74 | 5.71 | 10.31 | 11.48 | 12.03 | 13.53 | 17.96 | 22.40 | 26.51 |

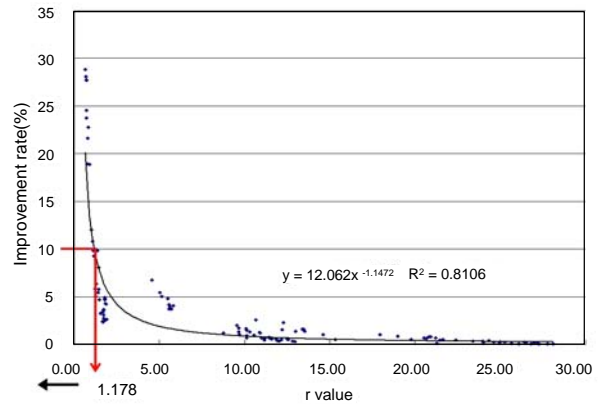


Figure 2. Relationship between r-value and average improvement rate

이들의 개략적인 패턴을 보기 위해 이 점들을 하나의 곡선으로 fitting하면 <Figure 2>의 곡선과 같다. <Figure 2>로부터 개략적으로나마 알 수 있는 가이드라인은 r값이 1.178보다 작으면 단순히 단가만을 고려한 구매정책보다는 본 연구에서 제시한 균형구매정책을 사용하여 주문을 공급자들에게 적절하게 할당하는 것이 총 비용의 10% 이상의 유의한 절감을 얻을 수 있을 것이라는 것이다. r값이 1.0과 6.0 사이에 있는 경우 총 구매비용은 4% ~ 12% 정도 절감될 수 있다고 추정된다.

6. 결론

본 논문에서는 품질과 규격이 표준화된 다수의 품목을 다수의 공급자로부터 동적 전자경매 방식으로 반복적으로 구매하는 경우에 제품가격과 운송비의 합을 최소화하는 선형계획 모형을 제시하고, 이를 사용하여 얻을 수 있는 총비용 절감액을 추정하였다. 그 결과 단순히 단가 기준으로 주문을 할당하기 보다는 각 공급자가 운송해야 하는 제품의 운송비용을 고려하여 주문을 공급자들에게 적절히 할당함으로써 총 구매비용을 상당히 절감할 수 있음을 보였다.

이러한 선형계획 모형을 적용하여 효과를 얻을 수 있는지를 미리 판정할 수 있는 임계치도 제시하였다. 본 연구에서 정의한 임계치란 운송비 대비 제품가의 비율로서, 이 값이 대략 1보다 작은 경우에는 본 연구에서 제시하는 균형구매정책을 사용함으로써 총 비용의 10% 이상의 유의한 절감이 기대된다. 오늘날 일반적으로 수송비는 증가하고, 대신 다빈도 소량배송에 따라 1회 구매시 제품가는 감소하는 추세에 있어 본 연구에서 제시하는 균형구매정책이 유효한 경우가 많아지리라고 사료된다.

본 논문에서 다루고 있는 비즈니스 모델은 공급자가 구매자에게 제품별 단가와 가용량, 운송비 등의 정보를 수시로 제공하는 환경이며, 이러한 상황은 현재로서는 보편적이지는 않지만 예를 들어 매우 높은 협업수준을 가지고 있는 공급망 내의

기업이나 군사조직, 정부와 같은 특수한 상황에서의 적용이 우선 효과적일 수 있을 것이다. 오늘날 기업은 경쟁력의 확보를 위하여 구매자와 공급자 사이에 높은 수준의 협력이 요구되고 있기 때문에 제안된 모델은 오늘날의 e-business 환경에서도 실행 가능한 모델이며, 향후 보다 전자화된 기업환경에서 빠른 속도로 진행되는 실시간 기업환경(real-time enterprise)에서는 그 적용분야가 보다 확대될 것으로 보인다. 향후 가능한 연구로는 확률적 수요에 대한 확장이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문의 심사과정에서 내용 보완에 많은 도움을 주신 익명의 심사위원들께 감사드립니다.

참고문헌

- Anthony, T. F. and Buffa, F. P. (1977), Strategic Purchasing scheduling. *Journal of Purchasing and Materials Management*, **13**(3), 27-31.
- Christopher, M. (1998), *Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Cost and Improving Service*, 2nd Edition, Prentice Hall.
- Ghodspour, S. H. and O'Brien, C. (1998), A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *International Journal of Production Economics*, **56-57**, 199-212.
- Ghodspour, S. H. and O'Brien, C. (2001), The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint. *International journal of production economics*, **73**, 15-27.
- Jeong, C. S. and Lee, Y. H. (2001), A Multiple-Criteria Supplier Selection (MCSS) Model for Supply Chain Management. Proceedings of the 2000 Conference on *Korean Institute of Industrial Engineers*. Seoul.
- Jeong, H. K., Kim, J. G. and Jang, G. S. (2000), Strategic Selection of Supplier and Allocation of Order Quantities of Parts for Supply Chain Management in Automotive Parts Manufacturer. Proceedings of the 2000 Conference on *Korean Institute of Industrial Engineers*. Seoul.
- Joel, D. Wisner, G., Keong Leong, Keah-Choon Tan. (2005), *Principle of Supply Chain Management : A Balanced Approach*, Thomson South-Western.
- Kawtummachai, R. and Van Hop, N. (2005), Order allocation in a multiple-supplier environment. *International Journal of Production economics*, **93-94**, 231-238.
- Kim, S. H. and Kim, J. H. (2003), An empirical study on relative importance of supplier selection criteria - an application if the AHP in Korean Electronic Industry. *Journal of Korea Productivity*, **14**(10), 3-25.
- Moore, D. L. and Fearson, H. E. (1973), Computer-assisted decision-making in purchasing. *Journal of Purchasing*, **9**(4), 5-25.
- Pan, A. C. (1989), Allocation of order quantity among suppliers. *Journal of Purchasing and Materials Management*, **25**(3), 36-39.
- Park, D. and Krishnan, H. A. (2001), Understanding supplier selection practice: Differences between U.S. and Korean Executives. *Thunderbird International business Review*, **28**, 225-243.
- Seshadri, S., Chatterjee, K., and Lilien G. L. (1991), Multiple source procurement competitions. *Marketing Science*, **10**(3), 246-253.
- U.S. Census Bureau. (2002), *Annual Survey of Manufacturers*, Statistics for Industry Groups and Industries, 2000.