

# 분납조달 방법을 통한 다단계 분배시스템의 총운전비용 최소화 알고리즘 개발에 관한 연구

-A Study on the Development of the Minimization  
Algorithm of Total Operating Cost in a Multi-stage  
Distribution System by the Partial Delivery Method-

崔震英\*  
Choi, Jin-Yeong

## Abstract

The objective of this study is to establish an actual optimization strategy for the traditional multi-stage distribution system which consists of factory warehouse, central distribution warehouse, and regional distribution warehouse under the basic assumption of distribution system.

A minimization algorithm of total operating cost in a multi-stage distribution system was developed by expanding the previously existing algorithm through consideration of additional transportation environment. Alternative non-linear transportation costs for the same travel distance can be applied for the multi-stage distribution system by estimating the corresponding characteristic values through the collection of the actual data representing the change of transportation circumstances.

## 1. 서론

최근 기업들은 급변하는 경제 환경하에서 기업의 지속적인 성장, 발전을 위하여 생산성 향상과 원가절감, 품질향상을 통한 대외 경쟁력 향상에 주력하고 있다. 그러나 기술의 전반적 향상으로 인하여 기업간의 기술 수준이 평준화되어 제품자체에 대한 품질성능 향상을 통한 대외 경쟁력 강화는 기업들에 많은 경제적 부담을 안겨주게 되었으며, 이로인해 고객으로의 신속하고 저렴한 수송을 통한 기업경쟁력 제고에 관심을 기울이게 되었다.

고객에 대한 신속하고 저렴한 제품인도를 목적으로 하는 분배시스템에 대한 고려는 분배네트워크의 설계와 분배시스템의 운영이라는 두 부문으로 대별될 수 있다.

분배시스템의 최적 설계를 위하여 Geoffrion & Graves[2], Christopher & Harold[4]등은

---

† 이 논문은 1996학년도 경기대학교 교내 학술연구 조성비 지원에 의하여 연구되었음.

\* 京畿大學校 産業工學科

혼합정수계획(Mixed Integer Programming)모형을 이용한 분배시스템 설계 방식을 제안하였으나 각 수송간에 선형 수송비용을 가정하므로써 현실응용에 한계를 갖는다고 할 수 있다. MIP 모형을 이용한 분배시스템 설계 모델 및 방법론들은 참고 입지 선정 뿐만 아니라 운영 문제의 더 나은 이해를 위해 많은 기여를 해왔으나 효율적인 현실 적용을 위해서는 분배계획의 주요 요구 사항들에 대한 체계적인 재검토가 요구된다.

다단계 분배시스템의 최적 운용을 위해서는 창고저장 및 수송비용에 있어서의 비선형 특성이 고려 되어야만 한다. 창고운영 측면에 있어서의 비선형 특성을 고려한 많은 연구들이 수행되었으며 대표적인 연구로서 Kelly & Khumawala[5]는 창고의 운용비용을 고정비용 부분과 가변비용 부분으로 세분하고 가변비용 부분에 대한 비선형 특성을 고려한 총 분배비용 최소화 방안에 관한 연구를 수행하였다. Whitacker[6]는 비선형 저장비용을 갖는 설비입지 문제 해결을 위해 반복적 국지선형화 방법을 통한 발전적 기법을 제안하였다. 그러나 수송측면에 대해서는 고려 요인의 복잡성등으로 인해 비선형 수송비용에 관한 연구가 이루어지지 못하였다. 분배 네트워크 각 단계간의 수송에 있어서 수송비용은 소규모의 2단계 네트워크에 있어서는 고정된 선형비용으로 고려될 수 있으나, 현실에 근사한 분배체계로서 고려되는 3단계 분배 네트워크에 있어서 비선형 수송비용에 대한 현실적 고려없이 모델의 실제 적용을 통한 효과를 기대하기 어려운 실정이다. 따라서 비선형 수송비용에 대한 적절한 고려는 분배 네트워크의 실제적용을 위한 선결 과제가 된다고 할 수 있다.

이러한 점에 기인하여 분배 네트워크 각 단계간의 수송비용에 대한 비선형적 특성을 고려한 여러 연구들이 수행되어져 왔으며 이들중 가장 진전된 연구로서 Bernard[3]는 3단계 분배 네트워크 모델에 있어서 각 분배 센터간의 보충주기당 상이한 수송량으로 인한 수송비용의 비선형적 특성을 고려하고, 차량의 만적 수송을 가정하므로써 비선형 수송비용을 선형함수로 표현할 수 있는 방법을 제시하였으며, Moon[7]은 비선형 분배시스템 설계문제 해결을 위해 창고 운용에 있어서의 규모의 경제로 인한 비선형 특성의 선형화를 통한 근사해 도출 방법을 제안하였다. 그러나 이러한 연구들은 기본적으로 동일한 단위 수송비용을 가정하므로써 수송환경 변화를 적절히 반영하지 못한다는 실제 적용상의 한계를 갖는다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 기존 연구들에서 발견되는 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 분배 네트워크 각 단계의 동일 수송 거리에 대하여 수송환경 변화에 따라 상이한 수송비용을 적용하므로써 보다 현실적인 운용정책 수립을 가능하게 하는 최적 분배시스템 운용에 관한 연구를 수행하고자 한다.

## 2. 알고리즘 개발

본 연구는 다품목, 용량제약, 단일공급원, 비선형 수송비용, 공장창고(FWs), 중앙분배창고(CWs) 및 지역분배창고(RWs)의 세가지 수송단계를 갖는 현실적인 다단계 분배시스템의 최적 운용정책 수립을 목적으로 하는 연구로서 비선형 수송비용을 고려한 다단계 분배시스템의 최적 운용정책 수립을 위하여 김영식, 최진영[1]의 연구에 의해 개발된 분납조달 방법을 이용한 총운전비용 최소화 알고리즘을 비선형 수송비용 고려하의 재고통제전략으로 확장한다. 그리고 분배시스템의 각 단계간에 수행되는 제품의 공급에 있어서 규모의 경제하의 소시간역 구분에 의한 분납 방식을 토대로하여 분배네트워크 각 단계의 동일 수송거리에 대하여 도로사정, 기후 등 수송환경 변화에 따른 상이한 수송비용을 적용하므로써 보다 현실적인 분배시스템 운용 정

책을 수립하게 하는 연구를 수행하였으며 수치 예에서 수송환경 변화에 따른 비선형 수송비용 산정을 위해 운송업체로부터 제공된 자료의 수송패턴과 관련된 소요시간 특성치로부터 산출해 낸 가중치를 수치예에서 적용하므로써 연구 결과의 현실 적용시 우수성을 입증하였다.

본 연구의 알고리즘 전개에 사용되는 기호의 정의는 다음과 같다.

$R_{P_{LT}}$  : 분납주기 동안의 재고유지비용

$Q_{P_{LT}}$  : 분납주기당 수송량

$s_{jp}$  : CWs, RWs  $j$ 에서 제품  $p$ 에 대해 요구되는 안전재고 수준

$u_p$  : 제품  $p$ 의 단위당 재고유지비용

$c_{ijp}$  : 공급지  $i$ 에서 수요지  $j$ 로의 제품  $p$ 에 대한 단위당 수송비용

$d_{ijp}$  : 공급지  $i$ 에서 수요지  $j$ 로의 제품  $p$ 에 대한 연간 평균수요

$\sigma_p$  : 제품  $p$ 의 단위당 표준편차

$w_p$  : 제품  $p$ 의 단위당 중량

$P_{LT}$  : 주 단위로 측정된 분납간격

$a$  : 재주문의 발송과 이에 대응한 수령간의 동일시간 단위에서 측정된 수송지연

$p$  : 제품 품목

$H_j(x)$  : 분납주기당 처리량  $x$ 에 대한 CWs, RWs  $j$ 의 재고유지비용

$T_{ij}(q)$  : 공급지  $i$ 로부터 수요지  $j$ 로의 운반량  $q$ 에 대한 수송비용

$r_u$  : 최소 및 최대수송시간 사이의 부분구간

$w_u$  :  $r_u$ 의 확률

소시간역 구분에 의한 분납 조달 가정하의 재고 유지비용과 수송비용의 합인 총비용 최소화 알고리즘의 계산 절차는 다음과 같다.

분납주기당 총 평균중량은 다음 식(1)을 통하여 구하여지고,

$$Q_{P_{LT}} = P_{LT} \sum_i \sum_j \sum_p w_{ijp} d_{ijp} \quad \text{----- (1)}$$

단위당 수송비용은 중앙분배창고와 지역분배창고간의 거리에 대해 비선형적 특성을 나타낸다. 따라서 수송환경을 고려한 분납주기당 수송비용은,

$$\begin{aligned} T_{ij}(Q_{P_{LT}}) &= T_{ij}(P_{LT} \sum_i \sum_j \sum_p w_{ijp} d_{ijp}) \\ &= (P_{LT} \sum_i \sum_j \sum_p w_{ijp} d_{ijp}) \varphi(x) \quad \text{----- (2)} \end{aligned}$$

$$\text{여기서, } \varphi(x) = \sum_i \sum_j \sum_p \sum_u c_{ijp} r_u w_u$$

$\varphi(x)$ 는 수송환경을 고려한 비선형 단위 수송비용으로서 동일 수송구간에 대한 최소 및 최대 소요시간 내의 평균이 1인 이산확률 분포에 의하여 표현될 수 있다.

식(2)에서  $P_{LT} \sum_i \sum_j \sum_p w_{ijp} d_{ijp}$ 는 공급지  $i$ 로부터 수요지  $j$ 로의 수송 크기에 있어 분납 조달에 의한 만적을 가정할 경우 자연스럽게 동일 크기의 가정이 충족된다. 따라서 비선형 수송 특성을 고려한 수송비용은 다음 식(3)에 의해 표현될 수 있다.

$$T_{ij}(Q_{P_{LT}}) = P_{LT} \sum_i \sum_j \sum_p \sum_u w_p d_{ijp} c_{ijp} r_u w_u \text{ ----- (3)}$$

식(3)에서 수송 소요시간 변화에 따른 비선형 수송특성을 고려하면 공급지 i로부터 공급지 j로의 1회 보충량에 대한 수송비용은 다양하게 나타난다.

각 분배창고에서의 재고유지비용은 다음의 식(4)를 통하여 구하여 진다.

$$H_j(x) = R_{P_{LT}} \sum_j \sum_p \left[ s_{jp} \sigma_p \sqrt{a + P_{LT}} + \frac{P_{LT}}{2} d_{jp} \right] u_p \text{ ----- (4)}$$

따라서 가변분납조달 및 비선형 수송비용 고려하의 최소 총운전비용은 다음 식(5)를 통하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} TC &= T_{ij}(Q_{P_{LT}}) + H_j(x) \\ &= P_{LT} \sum_i \sum_j \sum_p \sum_u w_p d_{ijp} c_{ijp} r_u w_u \\ &\quad + R_{P_{LT}} \sum_j \sum_p \left[ s_{jp} \sigma_p \sqrt{a + P_{LT}} + \frac{P_{LT}}{2} d_{jp} \right] u_p \text{ ----- (5)} \end{aligned}$$

여기서,  $TC$ 는  $P_{LT}, r_u$ 의 변화에 따른 수송비용 및 재고 유지비용의 합으로서 최적값(optimum value)  $P_{LT}^*, r_u^*$ 에서 최소  $TC$ 가 구하여진다.

### 3. 수치 예

본 연구를 통하여 개발된 총운전비용 최소화 알고리즘의 평가를 위하여 다음의 그림 1과 같은 5개 품목, 2개의 중앙분배창고, 5개의 지역창고로 구성된 분배시스템의 제품 수송 및 저장에 따른 총운전비용 산출을 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

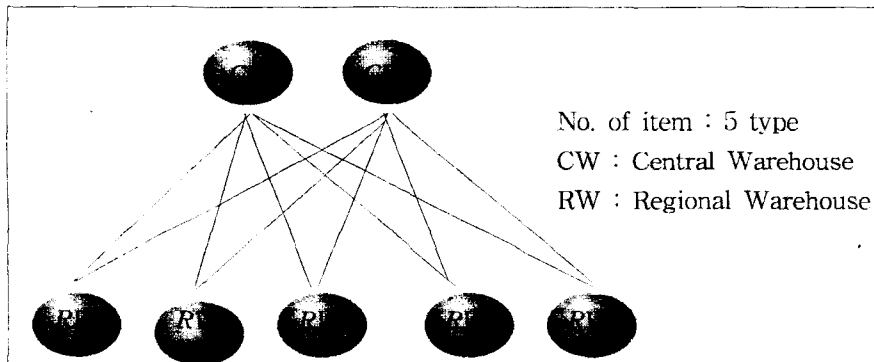


그림 1. 2개의 CW와 5개의 RW로 구성된 분배시스템

시뮬레이션에 사용된 수치 및 해당 수치의 특성은 다음과 같다.

$w_p = (2.2 \ 1.4 \ 1.6 \ 1.9 \ 1.5)$ ,  $d_{ijp} = (4,600 \sim 6,800); random$ ,  $a=1$ ,  $w_u = (0.6 \ 0.3 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.1)$ , 연간 재고유지비율 15%에 대하여  $R_{PLT} = (0.0004, \ 0.0012, \ 0.0021, \ 0.0058)$ ,  $s_{jp} = (1,400 \sim 2,100); random$ ,  $u_p = (4 \sim 10); random$ ,  $P_{LT} = (1일, \ 3일, \ 5일, \ 1주, \ 2주)$ ,  $w_u$ 는 인천→안산, 인천→대구, 마산→대구 간을 정기 운행하는 8톤 노선트럭의 1개월간 수송 소요시간을 실제로 조사하여 산출한 소요시간 분포가 사용되었으며,  $r_u$ 는 최소 및 최대 소요시간의 비가 (1:1, 1:1.5, 1:2)인 경우의 산술평균이 1인 5점 분포가 사용되었다.

다음 표 1은  $P_{LT}$ 와  $r_u$ 의 조합에 따른 TC시뮬레이션 결과이다.

표 1.  $P_{LT}$ ,  $r_u$  조합에 따른 총 운용비용 변화 run : 1,000회

$P_{LT} \backslash r_u$	0.15	0.43	0.71	1.00	2.00
1:1	895,662	2,570,018	4,232,551	5,974,841	11,934,751
1:1.5	781,013	2,232,267	3,691,164	5,185,461	10,394,932
1:2	702,730	2,014,659	3,322,125	4,676,349	9,370,070

표 1에서 분납조달기간( $P_{LT}$ )이 1일(0.15주)에서 14일(2.00주)로 변화됨에 따라 총 운전비용(TC)은 비선형적으로 증가되며, 최소 및 최대 소요시간의 비율( $r_u$ )을 조사된 자료를 토대로 하여 최소 1:1에서 최대 1:2까지 변화 시켜본 결과 최소 및 최대 소요시간 간의 차가 커질수록 정확한 총운전비용 산정을 위하여 동일구간에 대한 비선형 수송비용 적용의 필요성이 증대된다.

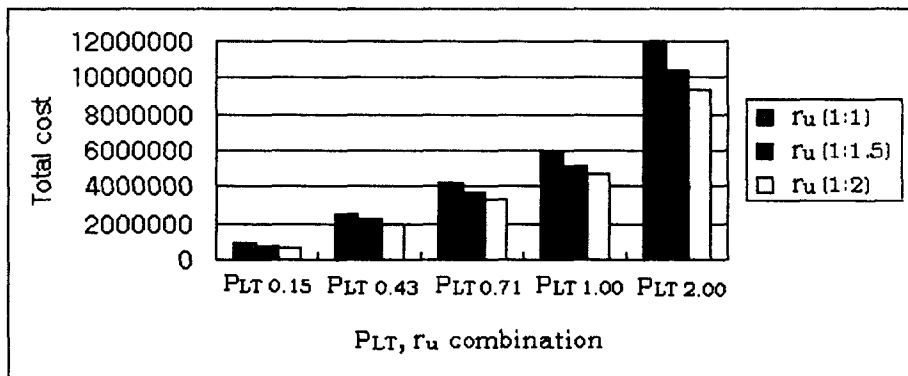


그림 2. 가변  $P_{LT}$ ,  $r_u$  고려하의 TC그래프

그림 2를 통해 볼 때 수송 환경이 총 운전비용(TC)에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 다단계 분배시스템의 설계 및 운용 평가시에는 본 연구에서와 같이 수송환경 요인을 고려한 수송비용 산정 방법을 적용하는 것이 정확한 운용 정책 수립을 위해 필요하다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서 제시한 비선형 수송비용 고려하의 분납조달방식을 통한 총운전비용 최소화 알고리즘은 기 제작 완료된 완제품의 저장 및 분배를 목적으로 하는 다단계 분배시스템에 대한 효율적 운영을 목적으로 개발된 알고리즘으로서 분납조달의 가정하에 기존의 다단계 분배시스템의 운영에 있어서 문제가 되었던 수송비용의 비선형적 특성을 분석, 고려하므로써 대규모 분배네트워크의 운용에 따른 제반 문제에 대한 보다 현실적인 접근을 가능케 하였으며 네트워크의 수리적 표현방식을 단순화시키므로써 기존 연구 방법들의 문제점중 하나였던 실제 적용시의 복잡성을 개선하였다.

또한 본 연구에서 제시한 운영비용 최소화 알고리즘은 기존 연구를 통하여 제시되었던 방법들과 비교할 때 분배체계 모형의 수리적 복잡성을 상당히 경감시키므로써 기업에의 실제 문제 해결을 위한 폭넓은 활용이 기대된다.

#### 5. 참고문헌

1. 김영식, 최진영, "다단계 분배시스템에서의 효율적 조달기간 관리를 통한 재고통제전략", 공업경영학회지, 제 19권, 제 38집, pp.77-83, 1996.
2. A. M. Geoffrion and G. W. Graves, "Multicommodity distribution system design by benders decomposition", *Management Science*, Vol.20, No.5, pp.822-844, 1974.
3. Bernard Fleischmann, "Designing distribution systems with transport economies of scale", *European Journal of Operational Research* 70, pp.31-42, 1993.
4. Christopher Gopal, Harold Cypress, "Integrated Distribution Management Competing on Customer Service, Time and Cost", Richard D. Irwin, Inc., pp.63-93, 1993.
5. David L. Kelly and Basheer M. Khumawala, "Capacitated warehouse location with concave costs", *Journal of Operational Research Society*, Vol.33, No.9, pp.817-826, 1982.
6. R. A. Whitaker, "Some add-drop and drop-add interchange heuristics for non-linear warehouse location", *Journal of Operational Research Society*, Vol.36, No.1, pp.61-70, 1985.
7. Sangwon Moon, "Application of generalized Benders Decomposition to a Nonlinear Distribution System Design problem", *Naval Research Logistics*, Vol.36, pp.283-295, 1989.