

확장 EOQ를 고려한 2단계 설비입지문제 분석

Analysis on the Two-level Facility Location Considering the Expanded EOQ

염인순*, 이창호*

요약

본 연구에서는 독립적인 수요를 가지는 제품에 대한 효율적인 물류망을 구축하기 위한 방법으로 공장-중앙창고-지역창고를 포함하는 2단계 설비입지문제의 수학적 모형을 구축하고 해를 구하였다.

구축된 모형은 공장에서 서비스 지역내의 중앙창고로 제품을 수송하는 단계와 중앙창고에서 하부 서비스 지역의 지역창고(대리점)로 경로를 통하여 제품을 배송하는 2단계 수송시스템을 고려하였다. 구축된 모형의 총비용은 수송비(수송비+배송비(정상배송+추가배송)), 중앙창고 재고비(정상재고+안전재고), 창고비(중앙창고+지역창고) 및 확장EOQ를 고려한 지역창고 총비용의 합을 최소로 하는 중앙창고 수와 지역창고(대리점 등) 수를 결정하고 각각의 중앙창고가 서비스하는 지역창고 수 및 지역창고의 경제적인 1회 발주량과 최대 재고부족량을 결정하고 분석하였다.

1. 서론

독립적인 수요를 가지는 제품의 유통 문제는 크게 두 가지 영역으로 나누어 볼 수 있다. 하나는 제품을 저장하는 창고 설비 결정의 문제이고, 다른 하나는 높은 수준의 고객 서비스를 유지하기 위한 재고관리의 문제이다. 그러므로 효율적인 유통관리를 위해서 이 두 가지를 효과적으로 관리해야 할 필요성이 제기된다. 창고 설비에 대한 가장 중요한 문제는 창고 설비의 위치와 수를 결정하는 문제이며, 고객서비스 수준을 일정하게 유지하기 위한 재고관리 문제는 어느 정도의 재고를 보유하는 것이 적절한 것인지에 관한 것으로 귀착될 수 있다.

본 연구에서는 서비스 지역 내의 효율적인 물류망 구축을 위한 2단계 설비입지 모형을 설계하고, 수송비, 창고비, 중앙창고 재고비 및 확장EOQ를 적용한 지역창고 총비용을 최소로 하는 중앙창고 수, 지역창고 수 및 지역창고의 경제적인 1회 발주량과 최대 재고부족량을 구하고 4가지 비용함수의 상충관계를 통하여 분석하였다.

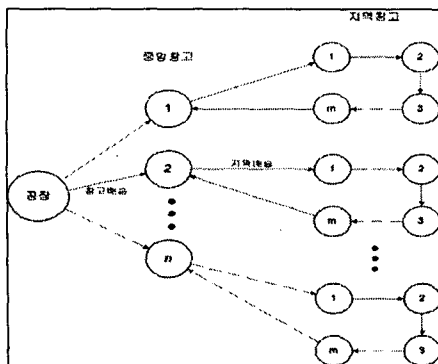
* 인하대학교 산업공학과

2. 문헌 고찰

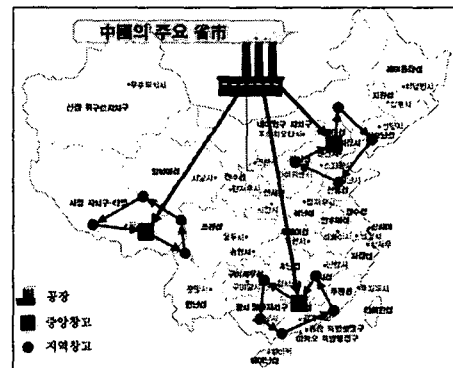
설비입지 결정 모델에 대한 선행연구는 초기에 Kuehn과 Hamburger[7]에 의해서 진행되었다. 이들은 설비의 입지 결정에 수송비와 조달비, 조달시간을 고려하여 설비 입지 결정을 위한 휴리스틱 기법을 개발하였다. Feldman et. al.[4]은 Kuehn과 Hamburger의 연구를 확장하여 창고비가 비선형인 경우에 설비 입지 결정을 위한 휴리스틱 기법을 소개하였다. Khumawala[6]는 설비 입지 결정을 위한 효율적인 branch & bound 기법을 개발하였고 또한 Akinc와 Khumalwala[3]는 이 기법을 저장 능력이 제한되어 있는 경우에도 적용을 하였다. 복수의 조달체계를 가지는 설비 입지에 대한 연구는 Akinc[2]와 Brown et. al.(1987)에 의해서 수행되었다. 이들의 연구는 제한된 저장 능력을 가지는 창고를 전제로 하여 복수의 조달체계를 갖는 설비 입지 결정 모델을 제시하였다. 또한 Ballo(1984)는 재고비를 비선형으로 고려하여 복수의 조달체계를 가지는 설비 입지 문제에 대한 휴리스틱 기법을 제시하였으며 Robinson[9]은 저장능력이 제한이 없는 경우를 고려하여 branch & bound 기법을 이용하였다. Ho와 Perl[5]은 수요가 탄력적이고 서비스에 민감한 경우를 고려하여 창고 입지 결정 모델을 제시하기도 하였다. 이 연구는 Kuehn과 Hamburger의 연구에 추가적으로 제품 가용성과 주문 싸이클 타임을 확률적으로 고려한 것이다. 이상의 연구 기초 위에서 서창적과 이화진[1]은 확률적 수요를 가지는 두 단계 수송시스템의 설비입지에 대한 연구에서 불확실한 수요를 가지는 제품의 물류망 설계를 위한 연구를 하였다.

3. 모형설계

수요가 독립적인 제품의 경우, 물류체계는 공장에서 만들어진 제품들이 중앙의 물류창고로 수송이 되고 이 물류창고에서 각 지역의 서비스 대리점으로 순회 배송이 되는 것이 일반적이다. 따라서 본 모형은 [그림 3-1]과 [그림 3-2]와 같이 2단계의 수송체계를 가지는 경우를 고려하였다.



[그림 3-1] 2단계 수송시스템



[그림 3-2] 제품의 수송경로

기본표기법

a_1 = 선적당 창고 수송 수송비(원/km),	a_0 = 선적당 지역 배송 정상수송비(원/km)
a_2 = 선적당 지역 배송 추가수송비(원/km),	c_1 = 창고 배송 평균 선적 규모(EA)
c_0 = 지역 배송 평균 선적 규모(EA),	A = 서비스 지역의 크기(km ²)
n = 중앙창고의 수(개),	m = 지역창고의 수(개)
d = 지역창고의 밀도(지역창고 수/km ²),	f_1 = 중앙창고 설비비(원)
f_2 = 지역창고 설비비(원),	D = 각 지역창고의 연간 총 수요(EA/연),
S = 각 지역창고 1회당 발주비(원)	Q = 각 지역창고 1회당 발주량(EA),
Y = 각 지역창고 최대 재고부족량(EA)	H = 연간 재고유지비(평균재고, 안전재고)(원),
R = 지역창고 연간 품질비용(원)	k = 중앙창고설치비와 지역창고의 설치비
계수	

3.1 수송비

n 개의 중앙창고는 각각 대략 A/n 으로 서비스지역을 담당한다. L 은 공장에서 서비스지역의 중심까지의 평균 거리로 하고, P 를 최적입지로 이동한 거리라고 한다면 창고 수송 수단의 평균적인 이동거리는 $2(L-P)$ 이다. 서비스 지역이 블록하다면 $L=0.38\sqrt{A}$ 이다[8]. 따라서 선적 당 평균 창고 수송 수단의 수송비는 식 (1)과 같다.

$$2a_1(0.38\sqrt{A} - P) \quad (1)$$

식(1)에 공장에서 중앙창고로의 선적횟수를 곱하면 창고수송에 의해서 발생하는 수송비를 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$C_n = 2a_1(0.38\sqrt{A} - P) \times \frac{mD}{c_1} \quad (2)$$

각 지역창고의 1회 발주량은 Q 이므로 하나의 중앙창고가 서비스하는 지역창고 전체의 1회 발주량은 mQ 이다. I 를 지역창고의 1회 발주량을 선적규모 c_0 인 트럭으로 배송하는 횟수라고 하면 $I = \frac{mQ}{c_0}$ 이다. 때문에 지역배송의 선적당 수송거리에 정상배송의 1회 선적당 수송비와 발주횟수 및 1회 발주량을 배송하는 횟수를 고려하면 정상발주품의 지역배송 배송비는 식 (3)과 같이 구할 수 있다[9].

$$C_m(P, \frac{A}{n}) = a_0 \left\{ 0.6 \frac{m}{\sqrt{d}} + 2P \right\} \times \frac{D}{Q} \times I \quad (3)$$

마찬가지로 지역배송의 추가배송비용은 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$C_{m1}(P, \frac{A}{n}) = a_2 \left\{ 0.6 \frac{m}{\sqrt{d}} + 2P \right\} \times \frac{\frac{1}{2} mY \frac{D}{Q}}{c_0} \quad (4)$$

따라서 $P=0$ 일 때 각 중앙창고의 총 수송비 C_T 는 식 (5)과 같다.

$$C_T = \frac{0.76a_1nmD\sqrt{A}}{c_1} + \frac{0.6a_0nmDI}{\sqrt{d}Q} + \frac{0.3a_2nm^2YD}{c_0\sqrt{d}Q} \quad (5)$$

3.2 중앙창고 재고비

재고비는 중앙창고에서 평균재고와 안전재고의 양으로 계산하였다. 지역창고에서의 재고비는 지역창고 총비용에 포함된다.

각각의 중앙창고의 평균재고는 하부 지역창고의 총수요의 평균과 같고, 안전재고는 하부 지역창고의 한주기당 최대 재고부족량의 평균과 같다. 따라서 전체 중앙창고에서의 총 재고비용은 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$C_I = nH \left(\frac{mD}{2} + \frac{mY}{2} \right) \quad (6)$$

3.3 창고시설비

창고시설비는 중앙창고와 지역창고를 세우거나 운영할 때 발생 하는 고정비의 성격으로 볼 수 있다. 따라서 창고시설비는 중앙창고의 수와 지역창고의 수에 비례적으로 늘어난다고 가정 할 수 있으며, 다음 식 (7)과 같이 표시한다.

$$C_F = n(f_1 + mf_2) \quad (7)$$

3.4 재고부족을 허용한 지역창고 총비용

재고부족을 허용한 지역창고의 총비용은 식 (8)과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} - \text{연간발주비} &= \frac{DS}{Q}, & - \text{연간재고유지비} &= \frac{(Q-Y)^2 H}{2D} \times \frac{D}{Q} = \frac{(Q-Y)^2 H}{2Q} \\ - \text{연간재고부족비} &= \frac{Y^2 R}{2D} \times \frac{D}{Q} = \frac{Y^2 R}{2Q} & - \text{최대 재고부족량: } Y &= Q \frac{H}{H+R} \end{aligned}$$

연간총비용 (C_s) = $n \times m$ (연간발주비+연간재고유지비+연간재고부족비용)

$$C_s = nm \left(\frac{DS}{Q} + \frac{(Q-Y)^2 H}{2Q} + \frac{Y^2 R}{2Q} \right) \quad (8)$$

3.5 수학적모형 정립

$$\text{Min } C_{Total} = \text{Min } C_T + C_I + C_F + C_S$$

$$\begin{aligned} \text{st. } \quad & I = \frac{mQ}{c_0} \\ & Y = Q \frac{H}{H+R} \\ & nm = Ad \\ & n, m \geq 1 \end{aligned} \quad (9)$$

본 연구는 식 (9)의 모형을 이용하여 총비용을 최소화 하는 중앙창고 수, 지역창고의 수와 전체 시스템의 경제적인 1회 발주량, 각 지역창고의 최대재고부족량을 구하고 분석하였다.

3.6 모형분석

목적함수와 제약조건이 비선형으로 구성 되어 있으며 <표 3-1>주어진 계수 값에 대해서 목적함수를 최소화 하는 을 만족시키면서 목적함수를 최소화 만드는 최적해를 구하기 위하여 최적화 소프트웨어인 Lingo 8.0을 사용하였다.

<표 3-1> 실험에 사용된 값

$A=12,000(\text{km}^2)$	$a_1=1,500(\text{원}/\text{km})$
$d=0.01(\text{개수}/\text{km}^2)$	$a_0=2,000(\text{원}/\text{km})$
$D=3,000(\text{EA})$	$a_2=3,000(\text{원}/\text{km})$
$S=10,000(\text{원}/\text{회})$	$c_1 \leq 1,000(\text{EA})$
$f_1=1,000,000(\text{원})$	$c_0 \leq 500(\text{EA})$
$f_1 \geq kf_2$	$H=200(\text{원})$
$k=15$	$R=700(\text{원})$

<표 3-2> 비용계수 변화에 따른 비용 및 값의 변화

↑	창고운 송	지역운 송	중앙선 적	지역선 적	중앙창고	지역창 고	k값
총비용	↑	↑	↓	↓	↓(10)↑	↓(12)↑	↑
수송비	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↑
재고비	—	≈	—	≈	≈	≈	≈
창고비	—	↑	≈	↓	↑	↓	↑
지역총비 용	—	≈	—	≈	≈	≈	≈
발주량	—	≈	—	≈	≈	≈	≈
재고부족 량	—	≈	—	≈	≈	≈	≈
중앙창고 수	—	↑	≈	↓	↑	↓	↓
지역창고 수	—	↓	≈	↑	↓	↑	↑

분석결과에 의하면 <표 3-2>에서 보여주는 것과 같이 창고운송요율의 변화는 수송비에 영향을 주어 총비용의 변화를 초래하나 최적의 중앙창고나 지역창고의 수에는 영향을 적게 미친다. 지역정상배송 운송요율의 변화는 전체 시스템의 비용변화에 영향을 미치는데 수송비에 가장 크게 영향을 미치고 중앙창고 수나 지역창고 수의 값에도 영향을 미치기는 하나 변동 폭이 클 때만이 중앙창고나 지역창고의 수의 변화를 초래하는 것으로 나타났다. 선적규모의 변화도 지역창고의 선적규모의 변화가 전체 시스템에 미치는 영향이 중앙창고의 선적규모의 변화에 비하여 큰 것으로 나타났다.

이와 같이 중앙창고 관련 계수변화는 전체 시스템에 미치는 영향이 적고, 지역창고 관련 계수변화는 전체 시스템에 미치는 영향이 상대적으로 크다. 이것은 중앙창고에서 발생하는 비용보다는 지역창고에서 발생하는 비용이 더 크다는 것을 의미하고, 지역창고 관련 비용을 최소화 하는 것이 전체 시스템 비용의 최소화에 더 유리하다는 것을 설명한다.

중앙창고와 지역창고 수의 변화는 중앙창고의 수 $n=10$ 이고 지역창고의 수 $m=12$ 일 때 전체 시스템의 비용이 최소라는 것을 확인하였다. 또한 지역창고의 선적규모가 고정되었을 때 각 지역창고의 1회 발주량이 증가하면 지역창고 수는 감소하고 중앙창고 수는 증가하는 걸로 나타났다. 최대 재고 부족량 역시 지역창고의 1회 발주량의 크기에 정비례 하여 변한다. 이것은 1회 발주량이 크면 발주횟수가 감소하고 발주횟수가 감소하면 각 지역창고의 최대 재고부족량은 증가하기 때문이다.

4. 결론 및 추후연구과제

본 연구에서 확장EOQ를 적용한 2단계 설비입지 모형을 수송비, 창고비, 중앙창고 재고비 및 확장EOQ를 적용한 지역창고 총비용의 상충관계를 통하여 구축하고 분석하였다.

연구에서 물류망을 2단계로 고려하여 보다 현실성 있는 모델을 제시하고, 중앙창고에서 지역창고의 수송을 일정한 경로를 가지는 것으로 현실화 하였으며, 수송비를 고려함에 있어서 제품 단위당 수송비를 고려한 것이 아니라, 선적규모에 따른 수송거리와 수송요율 그리고 선적횟수에 따라 수송비를 산정하고, 확장EOQ를 고려한 지역창고의 총비용을 적용함으로써 품질현상이 발생하는 독립적인 수요를 가지는 제품의 공급 문제를 모형에 적용하였다. 이는 품질에 따른 비용이 계산되었을 뿐만 아니라 지역창고의 1회 경제적인 발주량과 재고부족량을 추가 배송하는 추가배송 비용까지도 모형에 적용하였기에 더 현실적인 값을 기대할 수 있다.

추후 연구과제로는 첫째, 고객의 수요를 확률적으로 고려하여 각 창고에서 보유하는 안전재고의 크기를 보다 현실적으로 산정하고, 둘째, 고객서비스수준 요소를 고려한 총비용을 최소화시키는 모델에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

5. 참고문헌

- [1] 서창적, 이화진 "확률적 수요를 가지는 두 단계 수송시스템의 설비입지에 관한 연구", 한국생산관리학회지, Vol. 12, No. 1, 2001.
- [2] Aikens, C. H., "Facility Location Models for Distribution Planning", European Journal of Operational Research 22, pp.263-279, 1985.
- [3] Akinc, U. and B. M. Khumawala, "An Efficient Branch and Bound Algorithm for the Capacited Warehouse Location Problem", Management Science, Vol. 23, No. 6, pp.585-594, 1977.
- [4] Feldman, E., F. A. Lehrer and T. L. Ray, "Warehouse Location under Continuous Economies of Scale", Management Science, Vol. 12, No. 9, pp.670-684, 1966.
- [5] Ho, Peng-Kuan, and J. Perl, "Warehouse Location Under Service-sensitive Demand", Journal of Business Logistics, Vol. 16, No. 1, pp.133-162, 1995.
- [6] Khumawala, B. M., "An Efficient Branch and Bound Algorithm for the Warehouse Location Problem", Management Science, Vol. 18, No. 2, pp.718-731, 1972.
- [7] Kuehn, A. A. and M. J. Hamburger, "A Heuristic Program for Locating Warehouse", Management Science, Vol. 19, pp.643-666, 1963.
- [8] Larson, R. C. and A. R. Odoni, "Urban Operations Research", Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, Inc., pp.132-136, 1981.
- [9] Robinson, E. P. Jr., "Multi-activity uncapacitated Facility Location Problem: A New Tool For Logistics Planning", Journal of Business Logistics, Vol. 10, No. 2, pp.159-179, 1989.