

# 물류시스템에서 수송크기와 물류센터의 위치

장 석 화<sup>†</sup>

인천대학교 산업경영공학과

## The Transportation Size and the Location of Distribution Centers in a Distribution System

Suk-Hwa Chang<sup>†</sup>

Dept. of Industrial and Management Engineering, University of Incheon

This paper is to determine the transportation size and the location of distribution centers to minimize logistics cost in a distribution system where products are transported from the distribution centers to the retailers. Logistics cost consists of the fixed cost of distribution centers, the transportation cost from the distribution centers to the retailers and the inventory holding cost in the retailers. The logistics cost is affected by the transportation size and the location of distribution centers. The transportation size affects transportation cost and inventory holding cost. The location of distribution centers affects the transportation cost. A mathematical model is formulated and the algorithm is developed. A numerical example is shown to explain the problem.

**Keywords** : Transportation size, Location of distribution center, Distribution system

### 1. 서 론

최근 기업은 물류부분에서 고객 서비스 증대와 비용 절감을 위해 효율적인 물류시스템을 구축하고 운영하는 것에 많은 노력을 하고 있다. 물류센터는 공급자와 수요자를 연결하여 시간적 가치를 창출하는 중요한 역할을 한다. 수요자의 요구량과 공급자의 경제적 수송량 사이에 차이가 있기 때문에 공급자에서 소비자로 직접 수송하는 것은 비용 면에서 경제적이지 못할 수 있다. 이에 물류센터는 적절한 위치에서 공급자와 수요자를 연결하여 물류시스템 전체적으로 비용을 줄일 수 있도록 역할을 한다.

물류센터와 대리점으로 구성된 물류시스템에서 물류센터의 위치를 정하는 문제는 중요하다. 물류센터의 위치와 고객을 물류센터에 할당하는 문제는 기본적으로 물

류센터 고정비용과 수송비용을 고려하여 결정하는 것으로 연구되었다[17]. 수송비용은 여러 요인에 따라 정해진다. 수송비용은 단위당 수송비용, 수송거리, 수송횟수, 수송수단 등에 의해 영향을 받는다. 수송횟수는 수요량과 수송크기에 의해 정해지고, 수송크기는 수송수단인 차량크기와 밀접하게 관련된 것으로 수송비용에 가장 크게 영향을 미치는 중요한 요소중 하나이다. 수송크기는 수송횟수와 단위당 수송비용에 중요하게 영향을 미친다. 또한 수송크기는 대리점의 평균 재고량에 영향을 미친다. 그리고 물류센터의 위치는 수송거리에 영향을 미친다. 물류시스템에서 물류센터의 위치와 물류센터에서 대리점으로 수송크기는 수송비용과 재고비용에 영향을 미치는 중요한 요소로 물류센터의 위치를 수송크기를 함께 고려하여 정할 필요가 있다.

수송비용과 재고비용 사이의 관계는 수송크기가 크면

<sup>†</sup> 교신저자 shchang@incheon.ac.kr

상대적으로 수송비용은 감소하지만 재고비용은 증가하게 된다. 반대로 수송크기가 적으면 상대적으로 수송비용은 증가하고 재고비용은 감소하게 된다. 적절한 수송크기가 수송비용과 재고비용의 합을 줄일 수 있을 것이다. 그리고 물류센터 고정비용에 따라 물류센터의 수에 영향을 주고, 이는 수송비용에 영향을 준다. 이와 같이 고정비용, 수송비용과 재고비용 등은 서로 영향을 미친다.

물류센터의 설치는 장기적인 면에서 전략적으로 결정해야 할 요인이다. 수송크기도 수송수단과 관련된 것으로 전략적 또는 전술적으로 함께 결정할 필요가 있다. 물류센터는 관련 비용인 물류센터 고정비용, 물류센터에서 대리점으로 수송비용, 대리점의 재고유지비용의 합을 최소화할 수 있도록 위치하여야 한다. 특히 고정비용, 수송비용과 재고비용에 크게 영향을 주는 수송크기를 고려하여 정할 필요가 있다.

Nozick and Turnquist[16]은 물류센터의 효율적인 위치 확인이 효율적인 물류센터 설계에 중요한 내용으로, 위치 결정의 최적화는 설비비용, 재고비용, 수송비용 그리고 고객반응 등의 상충관계에 있음을 설명하고 있다. 고정비용 설비 위치 모형이 설명되고, 해 절차로 add, drop, and exchange, Lagrangian relaxation, and branch and bound, heuristic method 등이 개발되었다(Sule[17], Tomkins, et al.[18], Mirchandani and Francis[15], Daskin[4], Dresner[6]).

Uncapacitated 설비위치문제에 대해 Efroymson and Ray[7], Khumawala[12]은 LP-relaxation을 적용하기 위해 일부 제약식을 통합하여 나타내었다. 그리고 Erlenkotter[8], Korke[14]와 Goldengorin[10] 등은 uncapacitated 설비위치문제에 대해 분지한계기법으로 해를 구하는 방법을 연구하였다. Daskin and Owen[5]은 설비 위치 모형화의 전반적인 내용을 설명하였다. Klose and Drexl[13]은 설비 위치와 고객 할당문제에 대해 기존에 연구된 내용을 정리하였다. 기본가정, 수리적 복잡성과 계산적인 성과 등의 관점에 초점을 두고 다루었다.

수송 재고 통합 모형은 많이 연구된 내용이다. 물류센터와 대리점들로 구성된 물류시스템에서 대리점의 수요를 충족시키기 위해 수송비용과 대리점의 재고비용 관점에서 주로 차량의 수송경로를 구하는 문제를 다루었다(Burns et al.[3], Anily and Federgrun[1], Gallego and Simchi-Levi[9], Bramel and Simchi-Levi[2]). Kasilingam[11]은 JIT개념을 적용하여 구매비용, 재고유지비용, 수송비용, 수송중 재고비용 등을 동시에 반영하여 경제적 주문량을 구하는 문제를 다루었다.

본 논문에서는 물류센터 고정비용, 물류센터에서 대리점으로 수송비용과 대리점의 재고비용을 통합하여 수송크기, 물류센터의 위치와 물류센터의 공급 대리점 등을 함께 정하고 있다. 이전의 연구에서는 물류센터의

위치를 수송크기와 재고비용을 함께 고려하여 구하는 연구는 행해지지 않았다. 제 2장에서는 모형에 대해 설명하고, 제 3장에서는 알고리즘에 대해 설명하고, 그리고 제 4장에서는 수치적 예제를 사용하여 문제를 설명한다.

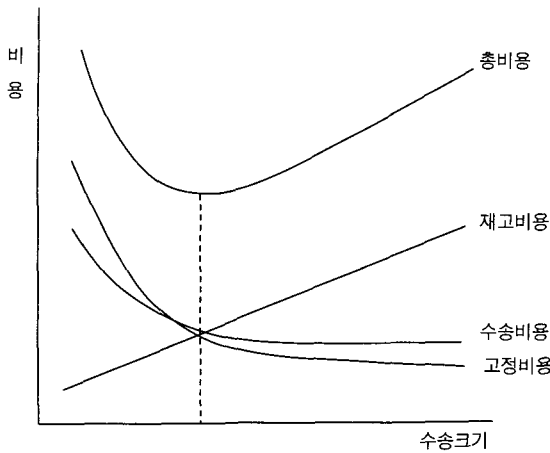
## 2. 수송크기와 물류센터의 위치

물류센터와 대리점으로 이루어진 물류시스템에서 수송크기와 물류센터의 위치를 함께 정하는 문제를 생각하고자 한다. 수송크기와 물류센터의 위치 등이 가장 큰 영향을 미치는 요인 중의 하나가 수송비용이다. 여기서는 수송크기를 고려한 수송비용을 반영하여 문제를 다루고자 한다.

수송크기는 수송당 평균적인 수송량을 의미한다. 실제에서 수송할 때마다 수송크기는 변할 수 있지만, 물류시스템을 설계할 때 수송크기는 평균 수송크기로 하여 하나의 값으로 고려할 수 있을 것이다. 수송크기는 연속적인 실수 범위에서 정해질 수도 있고, 혹은 적절한 단위를 하나의 유닛로드로 하여 이산적인 범위에서 정해질 수도 있을 것이다. 여기서는 수송크기를 후자의 경우를 고려한다.

물류센터 고정비용, 물류센터에서 대리점으로 수송비용, 대리점의 재고비용 등을 수송크기와 물류센터의 위치를 정하는데 고려한다. 물류센터에서 대리점으로 수송비용은 수송크기에 따라 많은 영향을 받는다. 수송크기를 크게 하면 단위당 수송비용은 줄어들지만 대리점의 평균 재고비용은 증가한다. 반대로 수송크기를 적게 하면 수송비용은 증가하고 평균 재고비용은 감소한다. 이와 같이 수송비용과 재고비용은 서로 상충관계에 놓이게 된다. 물류센터 고정비용과 수송비용 사이에도 상충관계가 존재한다. 많은 수의 물류센터를 두면 고정비용은 증가하지만 수송비용은 감소한다. 반대로 적은 수의 물류센터를 두면 고정비용은 감소하지만 수송비용은 증가한다.

수송크기에 따라 비용변화의 추세를 생각한다. 수송크기에 따라 물류센터 고정비용, 수송비용, 재고비용 등의 비용변화는 국지적으로는 변화가 있겠지만 전체적으로는 <그림 1>과 같은 형태의 추세를 따를 것이다. 수송크기가 증가하면 단위당 수송비용이 감소하여 물류센터의 수가 감소하고 이는 물류센터 총 고정비용을 감소시킨다. 수송크기가 증가하면 수송당 비용은 증가하지만 수송횟수가 감소하여 전체적으로 단위당 수송비용은 감소한다. 반면 수송크기가 증가하면 대리점의 재고량은 증가한다. 수송크기에 따른 비용변화가 비용들 사이



<그림 1> 수송크기에 대한 고정비용, 수송비용과 재고비용

에 상충관계에 있기 때문에 물류센터에서 대리점으로 적정한 수송크기는 총비용을 줄일 수 있을 것이다.

고정비용, 수송비용과 재고비용의 합을 최소화할 수 있는 수송크기와 물류센터의 위치를 정하는 모형을 나타내기 위해 가정과 부호를 정의한다.

1) 가정

- ① 대리점의 위치와 물류센터의 후보 위치는 주어지고, 계획기간동안 대리점의 수요량은 일정하게 발생하고, 대리점의 재고부족은 발생하지 않는 것으로 한다.
- ② 수송크기의 단위는 유닛로드이고, 수송크기는 이산적인 값으로 유닛로드의 수를 나타낸다. 예로 수송크기가 3이면 유닛로드 3개를 의미한다.
- ③ 수송당 수송비용은 수송크기의 증가에 따라 감소하는 비율로 증가한다.
- ④ 수송크기는 하나만을 사용한다.
- ⑤ 각 대리점은 모든 수요량을 하나의 물류센터로부터 공급받는 것으로 한다.
- ⑥ 물류센터에서 대리점으로 수송간격은 일정하다.

2) 부호

- $i$  = 대리점을 나타내는 첨자
- $N$  = 대리점의 수
- $j$  = 물류센터를 나타내는 첨자
- $J$  = 물류센터 후보지의 수
- $k$  = 수송크기 대안을 나타내는 첨자
- $K$  = 수송크기 대안의 수
- $f_j$  = 물류센터  $j$ 의 고정비용
- $c_k$  = 수송크기  $k$ 일 때 단위거리당 수송비용
- $h_i$  = 대리점  $i$ 에서 제품의 단위당 단위기간당 재고유

지비용

- $d_{ji}$  = 물류센터  $j$ 에서 대리점  $i$ 까지 거리
- $q_k$  = 수송크기  $k$ 일 때 수송단위
- $q$  = 수송크기의 상한
- $R_i$  = 대리점  $i$ 의 수요량
- $N_{ki}$  = 수송크기  $k$ 일 때 대리점  $i$ 로 수송횟수
- $z_j = \begin{cases} 1, & \text{물류센터가 위치 } j \text{에 위치하면,} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$
- $x_{kji} = \begin{cases} 1, & \text{대리점 } j \text{의 수요가 수송크기 } k \text{로 물류} \\ & \text{센터 } j \text{로부터 공급되면,} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$
- $y_k = \begin{cases} 1, & \text{수송크기 } k \text{가 선택되면,} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$

실질적으로 물류센터에서 여러 종류의 차량크기를 사용할 수 있지만 장기적인 관점에서 시스템을 설계할 때 하나의 평균적인 수송량을 수송크기로 하고, 또한 차량크기도 하나로 가정할 수 있을 것이다.

수리적 모형은 목적식과 제약식으로 구성된다. 목적식은 비용요소의 합으로 표현되고, 제약식은 문제에서 가정한 내용을 반영하여 표현된다.

목적식은 물류센터 고정비용, 물류센터에서 대리점으로 수송비용, 대리점의 재고비용의 합으로 표현되고 식 (1)과 같다.

$$\sum_{j=1}^J f_j z_j + \sum_{k=1}^K \left[ \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N c_k d_{ji} N_{ki} x_{kji} + \sum_{i=1}^N h_i \frac{q_k}{2} \right] y_k \dots\dots (1)$$

식 (1)에서 첫 번째 항은 물류센터 고정비용이고, 두 번째 항은 물류센터에서 대리점으로 수송비용이고, 세 번째 항은 대리점의 재고비용이다. 재고비용은 대리점의 재고정책에 따라 평균재고 수준이 다를 수 있지만 여기서는 실질 재고 수준보다는 수송당 수송크기로 인해 발생하는 평균 재고증가분으로 인해 발생하는 비용을 반영한다. 수송비용과 재고비용은 수송크기에 따라 직접적으로 관련되어 있다.

제약식을 고려한다. 먼저 수송크기  $k$ 에 대해 대리점  $i$ 가 물류센터  $j$ 에서 제품을 공급받으려면 해당 물류센터 후보에 물류센터가 설치되어야한다. 이러한 관계를 나타내는 식이 필요하고, 식 (2)와 같다.

$$x_{kji} \leq z_j \dots\dots\dots (2)$$

수송크기  $k$ 일 때 물류센터  $j$ 에서 대리점  $i$ 로 수송이 가능하려면 수송크기  $k$ 가 선택되어야 함을 나타내는 제약식이 필요하고, 식 (3)와 같다.

$$x_{kji} \leq y_k \dots\dots\dots (3)$$

가정에서 정의한 바와 같이 수송크기는 가능한 수송크기 대안 중에서 하나만이 사용되어야 하는 제약식이 필요하고, 식 (4)과 같다.

$$\sum_{k=1}^K y_k = 1 \dots\dots\dots (4)$$

모든 수송크기 중에서 대리점  $i$ 은 설치된 물류센터 중에서 하나의 물류센터에서만 제품을 공급받는 가정을 만족시키는 제약식이 필요하고, 식 (5)와 같다.

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{kji} = 1 \dots\dots\dots (5)$$

수송크기  $k$ 일 때 대리점  $i$ 로 수송횟수  $N_{ki}$ 는 수요량  $R_i$ 와 수송크기  $q_k$ 와의 사이에서 다음 식 (6)과 같은 관계가 성립한다.

$$N_{ki} = \frac{R_i}{q_k} \dots\dots\dots (6)$$

물류센터에서 대리점으로 수송크기를 고려하여 고정비용, 수송비용과 재고비용의 합을 최소화하는 물류센터의 위치( $z_j$ ), 대리점의 공급물류센터( $x_{kji}$ )와 수송크기( $y_k$ )을 구하는 수리적모형은 다음 P와 같다.

$$P : \min Z = \sum_{j=1}^J f_j z_j + \sum_{k=1}^K \left[ \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N c_k d_{ji} N_{ki} x_{kji} + \sum_{i=1}^N h_i \left( \frac{q_k}{2} \right) \right] y_k$$

$$\begin{aligned} \text{s.t. } & x_{kji} \leq z_j, \forall k, \forall j, \forall i \\ & x_{kji} \leq y_k, \forall k, \forall j, \forall i \\ & \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J x_{kji} = 1, \forall i \\ & \sum_{k=1}^K y_k = 1 \\ & z_j = 0 \text{ or } 1, \forall j \\ & x_{kji} = 0 \text{ or } 1, \forall k, \forall j, \forall i \\ & y_k = 0 \text{ or } 1, \forall k \end{aligned}$$

모형 P는 목적식에 0, 1정수를 갖는 변수  $x_{kji}$ 와  $y_k$ 의 곱으로 표현되어 비선형 모형이다. 변수의 값이 0, 1인 변수의 곱만으로 된 식은 0, 1정수를 갖는 선형정수계획 모형으로 새로이 변환하여 나타낼 수 있다. 여기서는 이를 생략한다.

모형의 매개변수인 단위당 수송비용 구조에 대해 추가적으로 설명하고, 모형에 대한 해를 구하는 알고리즘은 다음 장에서 설명한다.

단위당 수송비용의 구조에 대해 생각한다. 차량이 크면 수송비용이 증가하지만 적은 차량에 비해 수송비용 증가가 차량크기에 대해 감소하는 비율로 증가한다. 많은 경우에 수송비용은 수송크기의 증가에 따라 증가하지만 증가비율을 감소한다. 즉 수송크기가 증가하면 수송되는 제품 단위당 수송비용은 감소한다. 이러한 비용구조를 나타내는 것으로 단위당 수송비용은 고정비용 더하기 수송크기에 선형으로 비례하여 증가하도록 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} q_k &= k \text{로 놓고,} \\ c_k &= s + a q_k, \quad s > 0, \quad a > 0, \quad q_k > 0, \end{aligned}$$

단위거리당 수송비용의 다른 정의로 수송크기가 증가하면 수송되는 단위당 수송비용은 증가하지 않은 구조가 되도록 수송크기를 차량크기에 맞추어 몇 개의 그룹으로 나누고, 동일 그룹에 있는 수송크기는 동일 차량크기를 사용하는 것으로 동일 수송비용이 되도록 한다.

$$\begin{aligned} q_k &= k \text{로 놓고,} \\ c_k &= \begin{cases} a_1, & 1 \leq k \leq b_1 \\ a_2, & b_1 < k \leq b_2 \\ \dots & \dots \\ a_n, & b_{n-1} < k \leq b_n \end{cases} \end{aligned}$$

여기서  $0 < a_1 < \dots < a_n$ ,  $a_i - a_{i-1} > a_{i+1} - a_i$ 의 관계가 성립하도록 한다.

### 3. 알고리즘

수송크기와 물류센터의 위치를 한번에 구하는 것은 쉬운 일이 아니다. 여기서는 모든 가능한 이산적인 수송크기 대안에 대해 고정비용, 수송비용, 재고비용과 이비용들의 합인 총비용을 구하고, 이 총비용을 비교하여 수송크기와 물류센터의 위치를 정하는 방식을 적용한다.

비용함수를 적용할 경우에 수송크기를 최소치 1부터 허용 가능한 최대치  $q$ 까지 1씩 증가시키면서 주어진 수송크기에 대해 물류센터 고정비용, 수송비용과 재고비용의 합인 총비용의 최소비용을 구한다. 모든 수송크기에 대해 최소 총비용을 구하고, 이 최소 총비용 중에서 가장 적은 비용을 갖는 수송크기와 여기에 해당하는 물류센터의 위치와 대리점의 공급 물류센터 등을 구한다.

임의의 수송크기에 대해 물류센터의 위치와 대리점의 공급 물류센터의 위치를 구하기 위해 목적함수에서 고정비용과 수송비용 더하기 재고비용을 고려하여 location-allocation 문제로 해를 구한다[17]. 물류센터에서 대리점으로 수송비용에 재고비용을 더하여 물류센터에서 대리점으로 비용으로 새로이 정의하고, 이 비용과 고정비용을 사용하여 기존 사용되고 있는 발견적 기법을 활용하여 해법을 개발한다.

- (1)  $f_i, \forall j; c_k, \forall k; h_i, \forall i$ 의 값을 정의한다.
- (2)  $k = 1, q_k = k, TC = \alpha q^* = 1$ 으로 놓고, 수송크기 상한  $q$ 을 정의한다. 설치될 물류센터의 집합을  $A_k = \emptyset$ 로 한다.
- (3)  $N_{ki}, \forall i$ 을 구한다.  $c_k d_{ji} N_{ki}, \forall j, \forall i$ 을 계산한다.
- (4)  $k$ 에 대해 가로로 물류센터( $j$ ), 세로로 대리점( $i$ )로 하는 행렬표  $T1_k, T2_k, T3_k$ 를 정의한다.
- (5) 대리점  $i(i=1, 2, \dots, N)$ 의 수요량을 물류센터  $j(j=1, 2, \dots, J)$ 에서 공급받을 경우에 수송비용과 재고비용의 합  $c_k d_{ji} N_{ki} + \frac{h_i q_k}{2}$ 을 비용으로 정의하고, 표  $T1_k$ 의 란 ( $i, j$ )에 나타낸다. 표  $T1_k$ 에서 대리점  $i$ 가 모든 물류센터에 대해 물류센터로부터 가장 적은 비용과 두 번째로 적은 비용의 차이의 절대치를 구하고, 이 절대치를 새로운 표  $T2_k$ 에 대리점  $i$ 와 가장 적은 비용을 나타내는 물류센터가 만나는 란에 기록한다. 그리고 표  $T2_k$ 에서 열별로 나타난 값의 합을 구하여  $V2_{kj}$ 로 나타낸다. 합  $V2_{kj}$ 에서 물류센터 고정비용  $f_j$ 을 빼고 이를 비용세이빙으로 한다. 즉, 비용세이빙  $S2_{kj}(S2_{kj} = V2_{kj} - f_j)$ 을 구한다. 비용세이빙이 가장 크게 나타나는 물류센터 후보지에 물류센터를 설치하는 것으로 하는 초기해를 구하고, 이 물류센터를 집합  $A_k$ 에 넣는다.
- (6) 표  $T1_k$ 에서 대리점  $i(i=1, 2, \dots, N)$ 가 집합  $A_k$ 에 있는 물류센터 중에서 가장 적은 비용으로 공급받는 물류센터  $j_1$ 를 구하고, 표  $TO_k$ 에 대리점  $i$ 와 이 물류센터  $j_1$ 가 만나는 란에 수요량을 기록한다. 이 결과가 집합  $A_k$ 에 있는 위치에 물류센터를 설치할 때 대리점  $i$ 의 물류센터의 공급 위치가 된다. 집합  $A_k$ 에 있는 물류센터  $j$ 로부터 제품을 공급받는 대리점들을 집합  $B_{kj}$ 로 한다.
- (7) 표  $T1_k$ 에서 대리점  $i(i=1, 2, \dots, N)$ 가 집합  $A_k$ 에 있는 물류센터 중에서 가장 적은 비용으로 제품을 공급받을 경우의 비용  $u_1$ 와 집합  $A_k$ 에 없는 다른 물류센터로부터 제품을 공급받을 경우의 비

용  $u_2$ 사이 관계가  $u_1 > u_2$ 일 경우 감소한 비용  $\theta(\theta = u_1 - u_2)$ 을 대리점  $i$ 와 집합  $A_k$ 에 없는 이 물류센터가 만나는 란에 나타내는 표  $T3_k$ 를 구한다. 표  $T3_k$ 에서 나머지 란은 0으로 둔다. 표  $T3_k$ 에서 집합  $A_k$ 에 없는 모든 물류센터 후보에 대해 물류센터별로 이 감소한 비용의 합  $V3_{kj}$ 을 구한다. 그리고 이 합  $V3_{kj}$ 에서 물류센터 고정비용  $f_j$ 을 빼 비용 세이빙  $S3_{kj}(S3_{kj} = V3_{kj} - f_j)$ 을 구한다. 비용 세이빙이 가장 큰 양의 값을 갖는 물류센터 후보지에 물류센터를 설치하는 것으로 하고, 이 물류센터를 집합  $A_k$ 에 넣는다.

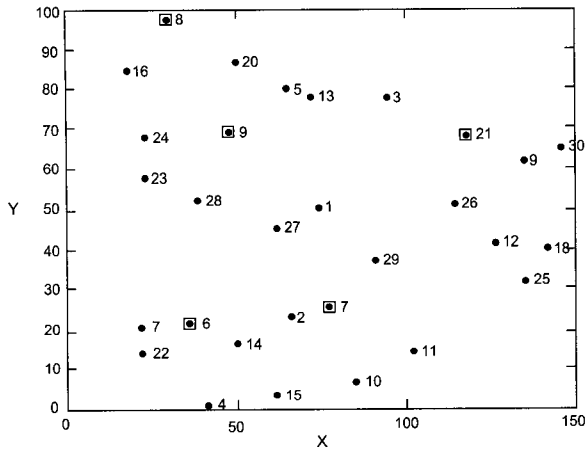
- (8) 집합  $A_k$ 에 없는 물류센터에 대해 비용세이빙  $S3_{kj}$ 이 양수 값이 없을 때까지 절차 (6)와 (7)을 반복한다. 비용세이빙이 양수의 값이 없으면 진행을 멈추고, 다음으로 간다.
- (9) 집합  $A_k$ 에 있는 위치가 물류센터의 위치가 된다. 집합  $A_k$ 에 있는 물류센터의 크기는 대리점들이 집합  $A_k$ 에 있는 물류센터 중에서 가장 적은 비용으로 공급받을 때 집합  $A_k$ 에 있는 각 물류센터가 공급하는 대리점들의 수요량의 합이 된다. 그리고 수송크기가  $k$ 일 때 고정비용, 수송비용과 재고비용의 합인 총비용  $TC(q_k)$ 을 구한다.

$$TC(q_k) = \sum_{j \in A_k} f_j + \sum_{j \in A_k} \sum_{i \in B_{kj}} c_k d_{ji} N_{ki} + \sum_{i=1}^N h_i \frac{q_k}{2}$$

- (10) 만일  $TC(q_k) \leq TC$ 이면  $TC = TC(q_k)$ 로 놓고,  $q^* = k, A^* = A_k, q^* = k, B_{kj}^* = B_{kj}$ 을 기록 한다. 그렇지 않으면 다음 단계로 간다.
- (11)  $k < q$ 이면  $k = k+1, q_k = k$ 로 놓고, 단계 (3)으로 간다. 그렇지 않으면 다음 단계로 간다.
- (12) 단계 (10)에서 구해진  $TC, q^*, A^*, TO_k^*, B_{kj}^*$ 은 최적해를 나타내는 결과로 각각 총비용, 수송크기, 물류센터의 위치 집합, 물류센터의 대리점에 수송량과 물류센터에서 공급받는 대리점 집합을 나타낸다.

#### 4. 수치적 예제

<그림 2>과 같이 점과 번호로 표시된 30개의 대리점으로 이루어진 물류시스템을 생각한다. 모든 대리점 위치는 또한 물류센터 후보지가 될 수 있고, 대리점의 위치와 수요량은 <표 1>과 같다. 대리점은 가로 150km,



<그림 2> 대리점과 물류센터의 위치

<표 1> 대리점의 좌표, 수요량 및 물류센터 설치 고정비용

대리점 번호, $i$	좌표 $(x_i, y_i)$	고정비용 수요량	$(\times 10^3)$
1	(75, 50)	231	46
2	(67, 23)	230	46
3	(96, 78)	179	57
4	(42, 0)	244	41
5	(66, 80)	189	45
6	(37, 21)	103	56
7	(23, 20)	127	53
8	(31, 98)	170	52
9	(137, 62)	192	65
10	(87, 6)	121	46
11	(104, 14)	132	60
12	(128, 41)	249	68
13	(73, 78)	150	41
14	(51, 16)	164	66
15	(63, 3)	122	53
16	(18, 85)	182	54
17	(78, 25)	114	59
18	(146, 40)	165	62
19	(49, 69)	113	70
20	(51, 87)	183	68
21	(120, 68)	103	41
22	(24, 14)	197	51
23	(24, 58)	159	60
24	(25, 68)	149	41
25	(137, 32)	14	58
26	(116, 51)	177	56
27	(64, 45)	168	59
28	(39, 52)	222	44
29	(93, 37)	170	54
30	(148, 65)	178	52

세로 100km인 직사각형 구역에서 무작위로 균등분포로 생성되었고, 수요량은 [100, 250] 사이에서 균등분포로 무작위로 생성하였다. 수송크기, 물류센터의 위치와 대리점의 공급 물류센터를 구한다.

물류센터 고정비용은 각 대리점에 물류센터를 위치시킬 때 계획기간동안 발생하는 비용으로 [40000, 70000] 사이에서 균등분포로 무작위로 생성하였고, <표 1>와 같다. 수송비용은 수송크기에 따라 다르고, 물류센터에서 대리점으로 1회 수송당 단위거리 수송비용은 “20+3x수송크기”이다. 시스템이 허용하는 최대 수송크기는 10단위로 한다. 대리점에서 재고유지비용은 대리점 위치에 관계없이 동일하게 주어진 기간당 단위당 3000이다.

알고리즘을 반영한 프로그램을 개발하여 해를 구하였다. 수송크기에 따른 고정비용, 수송비용, 재고비용 및 총비용은 <표 2>과 같다. <표 2>에서 최소비용을 나타내는 수송크기는 5 단위이고, 이때 고정비용은 278,000, 수송비용은 441,300, 재고비용은 225,000이고, 그리고 총비용은 944,300이다. 물류센터의 위치는 <표 3>과 같이 6, 8, 17, 19, 21이다. 그리고 각 물류센터가 제품을 공

<표 2> 수송크기에 대한 비용

수송크기	고정비용 $(\times 10^6)$	수송비용 $(\times 10^6)$	재고비용 $(\times 10^6)$	총비용 $(\times 10^6)$
1	0.8700	0.5059	0.0450	1.4209
2	0.4180	0.6083	0.0900	1.1163
3	0.3770	0.4919	0.1350	1.0039
4	0.3360	0.4446	0.1800	0.9606
5	0.2780	0.4413	0.2250	0.9443
6	0.2780	0.3993	0.2700	0.9473
7	0.2260	0.3693	0.3150	0.9623
8	0.2900	0.3468	0.3600	0.9848
9	0.2780	0.3149	0.4050	1.0099
10	0.2900	0.3015	0.4500	1.0415

<표 3> 물류센터의 수송대리점 및 수송량의 합

물류센터 (대리점 번호)	수송대리점	수송량의 합
6	4, 6, 7, 14, 22	835
8	8, 16	352
17	1, 2, 10, 11, 15, 17, 27, 29	1288
19	5, 13, 19, 20, 23, 24, 28	1165
21	3, 9, 12, 18, 21, 25, 26, 30	1383

급하는 대리점 집합은 <표 3>과 같다. 또한 <그림 2>에서 대리점 중에서 □로 표시된 6, 8, 17, 19, 21이 물류센터의 위치가 된다.

수치적 예제에 대해 알고리즘에 나타난 해를 구하는 과정을 최적해를 구할 때까지 단계별로 모든 단계를 자세하게 보이기 위해서는 규모가 큰 많은 표의 제시를 필요로 한다. 따라서 여기서는 일부의 과정에 대해 중요한 부분만을 나타내고자 한다. 수송크기가 5일 때에 물류센터의 위치를 정하는 과정을 비용세이빙 자료를 중심으로 간략하게 설명하고자 한다.

수송크기 5일 때 단계 5에서  $T_{15}$ 는 수송비용과 재고비용의 합인 비용을 나타내는 행렬표이다. 이 표를 사용하여 알고리즘을 적용하여 행렬표  $T_{25}$ 을 구하고,  $T_{25}$ 에서  $S_{25j}$ ,  $\forall j$ 의 값을 구한다. 이 값은 <표 4>의 두 번째 열에 나타나 있다.  $\max_j[S_{25j}] = -28,578$ 이고, 이 값을 나타내는  $j = 8$ 이다.

<표 4> 수송크기 5일 때 물류센터 위치 결정 과정

물류센터, $j$	$S_{25j}$ ( $\times 10^4$ )	$S_{35j}$				
		1회 ( $\times 10^6$ )	2회 ( $\times 10^5$ )	3회 ( $\times 10^5$ )	4회 ( $\times 10^4$ )	5회 ( $\times 10^3$ )
1	-3.7790	0.7918	-0.2591	-0.2591	-0.2591	-2.5907
2	-4.3078	0.8574	-0.3708	-0.3708	-0.3708	-3.7078
3	-3.3254	0.8530	0.2439	-0.3022	-0.3022	-3.8254
4	-3.6436	0.5350	-0.0100	-0.0100	-0.2544	-2.5436
5	-4.4356	0.6208	0.5675	0.3899	0.3404	-1.8340
6	-3.9522	1.4908	1.1744	1.1744	-0.5600	-5.6000
7	-4.3612	1.0647	0.8106	0.8106	-0.3764	-3.7642
8	<b>-2.8578</b>	-0.0520	-0.5200	-0.5200	-0.5200	-5.2000
9	-3.9002	0.8500	1.1011	-0.4702	-0.4702	-4.7022
10	-3.5223	1.4601	-0.2185	-0.2185	-0.2185	-2.1846
11	-3.6086	1.3755	-0.0170	-0.3747	-0.3747	-3.7472
12	-3.9527	0.8064	0.5842	-0.4118	-0.4118	-4.1177
13	-4.2368	1.0755	0.7518	0.4179	0.3685	-1.2353
14	-4.1282	1.0846	0.1185	0.1185	-0.5434	-5.4343
15	-3.1690	1.3883	0.1490	0.1490	-0.3175	-3.1752
16	-3.2825	0.0343	-0.0605	-0.0605	-0.2057	-3.2122
17	-3.4193	<b>1.6391</b>	-0.5900	-0.5900	-0.5900	-5.9000
18	-4.0199	0.9252	1.1547	-0.1965	-0.1965	-1.9654
19	-2.8800	1.4048	1.0795	0.8826	<b>0.4619</b>	-7.0000
20	-3.7674	0.3412	0.1233	-0.0054	-0.0549	-5.3674
21	-3.0362	1.4898	<b>2.2484</b>	-0.4100	-0.4100	-4.1000
22	-4.6592	0.5544	0.4470	0.4470	-0.3862	-3.8623
23	-4.1518	0.6430	0.4540	0.4540	0.0175	-3.0580
24	-4.0814	0.6985	0.6756	0.6719	0.2531	-0.8174
25	-3.8092	1.1436	1.3696	-0.0572	-0.0572	<b>-0.5717</b>
26	-3.9408	1.1093	1.0821	-0.4246	-0.4246	-4.2459
27	-3.2518	1.1998	-0.1303	-0.1898	-0.3124	-3.3635
28	-3.6399	0.4567	0.3041	0.3041	-0.1147	-2.8399
29	-3.6671	1.2739	-0.3397	-0.3867	-0.3867	-3.8671
30	-3.6676	0.7972	0.9794	-0.3170	-0.3170	-3.1696
최대 세이빙	-2.8578	1.6391	2.2484	1.1744	0.4619	-0.5717 < 0
물류센터	8	17	21	6	19	
$A_5$	{8}	{8, 17}	{8, 17, 21}	{6, 8, 17, 21}	{6, 8, 17, 19, 21}	

단계 6에서  $A_5 = \{8\}$ 이고, 모든 대리점은 물류센터 8로부터 공급받는다. 이 결과가 초기해가 된다.

해를 개선하는 단계 7에서 <표 4>에 나타난 것과 같이 다음 해의 개선을 위해 행렬표  $T_{35}$ 을 구하고, 새로운 물류센터를 각 후보 위치에 추가할 경우에 비용세이빙  $S_{35j}$ 을 구한다. 이는 <표 4>의 세 번째 열에 나타난 것과 같고,  $\max_j[S_{35j}] = 1,639,100$  이고, 이 값을 나타내는  $j = 17$ 이다.  $A_5 = \{8, 17\}$ 이다.

해를 개선하는 단계 6, 7은 최적해를 얻을 때까지 동일한 과정의 반복이다. 단계 6, 7을 계속 반복적으로 적용하여 각 후보 위치에 물류센터가 있을 경우 비용세이빙을 구하고, 가장 큰 양의 비용세이빙 값과 이 값을 갖는 물류센터를 구하는 과정을 반복하면 <표 4>의 4 열에서 7열까지 나타난 것과 같다. 7열에서 비용세이빙이 음수가 되어 진행을 멈추고, 6열까지의 반복과정에서 얻어진 결과가 해가 된다. 수송크기 5일 때 물류센터의 위치 집합은  $A_5 = \{6, 8, 17, 19, 21\}$ 이 된다. 이 결과에 해당하는 비용은 <표 2>의 수송크기 5일 때 행의 값이다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 물류센터와 대리점으로 구성된 물류시스템에서 물류센터에서 대리점으로 수송크기와 물류센터의 위치를 함께 고려하여 정하였고, 또한 물류센터의 공급 대리점을 구하였다. 수송크기에 따라 수송비용이 다르고 또한 대리점에서의 재고비용이 다를 수 있다. 이는 물류센터의 위치를 정하는데 중요한 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 실질적으로 수송수단이 중요한 상황에서 이전 연구에 비해 본 연구에서는 수송크기를 고려함으로써 실질적인 문제에 좀 더 근접하였다는 중요한 의미를 갖는다.

물류시스템을 구축할 때 차량크기를 고려하는 것이 중요하다. 차량크기에 따라 수송비용에 차이가 발생하고, 수송량에 따라 대리점의 재고비용에 차이가 나기 때문에 수송크기인 차량크기를 고려하여 분석한 연구결과는 물류시스템을 설계하는데 중요하게 사용될 수 있을 것이다.

본 논문에서는 수송크기를 동일하게 적용하여 문제를 다루었다. 실질적으로 물류센터에서 차량크기가 다른 여러 종류가 주어질 수도 있고, 혹은 적절한 차량크기 별로 필요한 차량의 수를 정하는 문제가 있을 것이다. 이와 같이 수송크기가 다른 여러 종류의 차량이 있을 경우에 복수 차량크기 선택과 물류센터의 위치를 동시에 고려하는 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Anily, S. and Federgruen, A.; "One warehouse multiple systems with vehicle routing costs," *Management Sci*, 36 : 92-114, 1990.
- [2] Bramel, J. D. and Simchi-Levi, D.; "A location-based heuristic for general routing problems," *Operations Res*, 43 : 649-660, 1995.
- [3] Burns, L. D., Hall, R. W., Blumenfeld, D. E., and Daganzo. C. F.; "Distribution strategies that minimizes transportation and inventory costs," *Operations. Res.*, 33 : 96-106, 1985.
- [4] Daskin, M. S.; *Network and Discrete Location : Models, Algorithms and Application*. Wiley, New York, 1995.
- [5] Daskin, M. S. and Owen, S. H.; Location Models in Transportation. R. Hall, ed. *Handbook of Transportation Science*, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 311-360, 1999.
- [6] Dresner, M. S.; *Facility Location : A Survey of Applications and Methods*, Springer, New York, 1995.
- [7] Effroymsen, M. A. and Ray, T. L.; "A branch and bound algorithm for plant location," *Operations Res*, 14 : 361-368, 1966.
- [8] Erlenkotter, D.; "A dual-based procedure for uncapacitated facility location," *Operations Research*, 26 : 992-1009, 1978.
- [9] Gallego, G. and Simchi-Levi, D.; "On the effectiveness of direct shipping strategy for the one-warehouse multi-retailer R-systems," *Management Sci*, 36 : 240-243, 1990.
- [10] Goldengorin, B., Ghosh, D., and Sierksma, G.; "Branch and peg algorithms for the simple plant location problem," *Computers & Operations Res.*, 30 : 967-981, 2003.
- [11] Kasilingam, R. G.; *Logistics and Transportation: Design and Planning*, Kluwer Academic Publishers, 1988.
- [12] Khumawala, B. M.; "An efficient branch and bound algorithm for the warehouse location problem," *Management Sci*, 18(12) : B718- B731, 1977.
- [13] Klose, A. and Drexl, A.; "Facility location models for distribution system design," *European J. of Operational Res.*, 162, 4-29, 2005.
- [14] Korkel, M.; "On the exact solution of large-scale simple plant location problem," *European J. of Operational Res.*, 39 : 157-173, 1989.
- [15] Mirchandani, P. B. and Francis, R. L.; *Discrete Location Theory*, Wiley, New York, 1990.
- [16] Nozick, L. K. and Turnquist, M. A.; "Inventory, transportation, service quality and the location of distribution centers," *European J. of Operational Res.*, 129 : 362-371, 2001.
- [17] Sule, D. R.; *Logistics of Facility Location and Allocation*, Marcel Dekker, Inc., New York, 2001.
- [18] Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Frazeller, E. H., Tanchoco, J. M. A., and Trevino, J.; *Facilities Planning*, John Wiley & Sons, Inc., NY, 1996.