

주문크기에 따라 다른 공급처를 이용하는 다단계 물류시스템의 경제적 설계*

장 석 화

인천대학교 산업공학과

The Economic Design of the Multi-stage Distribution System Using Different Supplier according to Order Size

Suk-Hwa Chang

Dept. of Industrial Engineering, University of Incheon

In this paper, a mathematical model is developed for economic design of multi-stage distribution system that consists of factory, central distribution centers, local distribution centers and retailers. The retailers are supplied products from different stage suppliers according to order size. The retailers are supplied products from factory if demand amount is large, central distribution center if medium, local distribution center if small. The economic design is to determine the economic size of facility factors that consist of distribution system. The cost factors are transportation cost from supply places to demand places, handling cost at distribution centers and inventory holding cost at retailers. It is to determine the transportation route of each retailer, the size and number of the vehicle at factory and distribution centers, the handling amount at distribution centers in order to minimize the total costs. The mathematical model is represented, the solution procedure is developed, and a numerical example is shown.

Keywords : 다단계 물류시스템, 주문크기, 경제적 설계

1. 서 론

최근에 국내외적으로 기업에서 물류관리 관련 부분이 낮출 수 있고, 경쟁력을 높일 수 있는 것으로 크게 인식되고 있다. 이는 생산부에서는 생산설비의 자동화와 생산관리 기술의 발전 등으로 비용절감을 상당히 달성하여 추가적인 비용개선에 어려움을 겪고 있지만, 자재의 운송, 보관, 포장, 하역 및 정보 등과 같은 물류관리 부분은 비용을 줄일 수 있는 여지가 많은 부분으로 평가되고 있기 때문이다.

원자재, 반제품 및 완제품 등과 같은 자재는 소비자가

사용하여야 가치를 창출하게 된다. 그러나 생산지와 소비지가 공간적, 시간적으로 항상 일치할 수 없기 때문에 자재는 경제적 가치를 창출하기 위하여 공간적, 시간적으로 이동하게 된다. 원자재, 반제품, 완제품 등의 자재가 경제적 가치를 창출하기 위하여 기업내의 부서 사이, 기업과 기업사이, 기업과 고객사이에 이동될 때 수송, 보관, 하역, 포장, 정보 등의 활동이 필요하다. 이러한 물류관련활동 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 주로 수송, 보관 및 재고관리 등과 관련된 활동이다.

공장에서 대리점사이에 물류시스템의 효율을 높이기 위하여 물류센터를 두어 운영한다. 물류센터는 공장에서

* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2001-1-51500-004-1)지원으로 수행되었음.

들어오는 제품을 소비자의 요구 상황에 맞게 다시 분류 포장하여 대리점에 운송하는 중간단계이다. 물류센터를 1-단계 또는 2-단계로 구축할 수 있고, 2-단계 물류센터로 구축하는 경우의 물류센터는 중앙물류센터, 지역물류센터의 단계가 될 것이다. 즉 공장, 중앙물류센터, 지역물류센터, 대리점 등의 단계로 이루어진 다단계 물류시스템으로 구축할 수 있다.

다단계 물류시스템은 공장에서 대리점에 물품을 직접 운송하는 것이 운송수량 측면에서 경제적이지 못하고, 운송의 효율을 높이기 위하여 운송단계 중간에 여러 단계의 물류센터를 설치한 것이다. 공장에서 운송할 때의 경제적인 운송수량과 개별 대리점이 요구하는 주문량사이에는 차이가 발생하기 때문에 여러 단계의 물류센터를 두게 된다. 공장으로부터 대리점에 제품을 운송하기까지 어떻게 최소의 비용으로 운송할 것인가는 중요한 내용이다.

물류관리에 대한 내용은 크게 수송전략측면, 재고전략측면, 물류시설의 위치전략측면이 있다[5]. 수송전략측면에서의 주요 연구내용은 운송차량 형태의 선택, 화물 통합, 차량의 운송경로, 장비선택, 차량의 수의 결정 등이 있다. 재고전략측면에서 보관은 재고관리와 관련되어 있어 재고관리정책, product-mix, 저장위치의 수, 크기, JIT, push, pull 전략 등과 보관공간결정, 배치 및 dock 설계, 창고 구조 등의 내용이 있다. 위치전략측면은 이동을 줄일 수 있는 물류센터의 위치, 설비 위치 결정, 물류 네트워크 계획 등의 내용이 있으며 보관과 깊은 관련이 있다. 운송시스템의 정보화는 차량의 위치추적이나 위성을 이용하여 교통혼잡정보를 얻을 수 있고, 정보통신을 이용하여 신속하게 차량이 다음 목적지로의 이동을 위한 정보들을 운행 중에 쉽게 얻을 수 있게 하고 있다. 보관시스템에 대한 정보화를 통하여 창고에서 제품의 위치를 추적하여 수배송관리와 재고관리를 원활히 할 수 있게 하고 있다.

물류시스템 분야에 대한 연구는 많이 이루어졌다. 그 중에서 본 논문과 직·간접으로 관련된 연구내용은 다음과 같은 것들이 있다. Bernhard Fleischmann[1]은 물류시스템에서 운송네트워크에 대한 다양한 구조를 설명하고, 생산자와 운송자의 관점에서 관련된 설계문제를 고려하여 수리적으로 분석하였다. 이 논문에서는 수송비용함수의 정의에 바탕으로 공통적인 구조모형 내에서 모형화하는 관점에 초점을 두고 있다. Arno Bruns[2]는 주어진 고객수요를 만족시키기 위하여 잠재적인 물류센터의 집합들 중에서 물류센터를 발견하는 문제로, 물류시스템 비용이 최소가 되도록 선택된 물류센터에 고객들을 할당하고, 공장에서 물류센터로 제품흐름을 만족시킬 수 있게 하는 것으로 drop and interchange 기법에 바탕을

둔 발견적 해법을 개발하였다. Kleijn와 Dekker[3]은 공장-창고-대리점으로 이루어진 운송시스템에서 대리점의 주문량의 크기에 운송 공급처를 달리하는 경우에 이 운송 기준을 구하는 내용을 연구하였다. 여기서는 수송비용과 재고비용을 고려하였다. 그리고 Dekker, Kleijn와 de Kok[4]는 1-창고, N-대리점인 경우에 고객의 큰 수량의 주문은 창고로부터 운송하고, 적은 수량의 주문은 대리점으로부터 운송하는 경우에 재고비용에 대한 분기 수량 규칙의 효과를 분석하였다. 개별 고객 차원에서 비용을 고려하여 고객이 공장 또는 대리점에서 운송 받는 기준을 다루었다. Ganesam[12]는 여러 대리점에 제품을 분배하는 하나의 중앙 창고에 제품을 보충하는 여러 공급자가 있는 생산/분배 네트워크에 대한 재고정책을 다루었다. Nozick와 Turnquist[13]은 다품종 2단계 재고시스템에서 각 제품에 대한 재고의 위치 중 최적화하는 모형을 나타내었다. 제품의 수요량의 크기에 따라서 보유하는 물류센터의 위치를 다르게 하였다.

본 논문에서는 공장, 중앙물류센터, 지역물류센터, 대리점으로 이루어진 다단계 물류시스템에서 대리점의 주문크기에 따라서 대리점은 다른 단계의 공급처로부터 제품을 운송 받을 수 있는 경우의 물류시스템을 경제적으로 설계하는 내용이다. 운송비용, 취급비용, 재고비용 등을 고려하여, 대리점의 주문크기에 따라 공장에서 대리점에 제품을 운송하기 위하여 경유하는 운송단계 순서인 운송경로를 결정하는 기준을 제시하고, 또한 공장, 물류센터에서의 차량의 크기 및 차량 수 등을 구하고, 물류센터의 규모에 대한 내용이 다루어질 것이다.

2. 운송경로 결정

공장에서 대리점에 제품을 운송하기까지 운송정책에 따라서 물류시스템의 중간에 있는 모든 단계의 물류센터를 차례로 거치며 운송하는 방법도 있고, 주문크기에 따라 일부의 대리점의 경우에 일부의 중간단계를 거치지 않고 운송하는 방법도 있다. 어느 방법을 사용하는냐에 따라서 공장에서 대리점에 제품을 운송하기까지 경유하는 운송단계의 순서인 운송경로가 대리점마다 다를 수 있다. 이는 운송정책에 따라 운송비용, 물류센터에서 취급하는 수량, 물류센터에서 사용하는 차량의 크기 종류와 수에 영향을 주게 됨을 의미한다.

공장과 대리점 사이에 중앙물류센터, 지역물류센터가 있는 다단계 물류시스템에서 대리점의 주문크기에 따라서 어떤 대리점은 일부의 물류센터를 경유하지 않고 운송되는 것이 허용된다. 이러한 방법은 중앙물류센터 및 지역물류센터에서 취급하는 제품의 평균 수량을 줄일

수 있고, 공장에서 대리점까지의 평균 운송시간을 짧게 할 수 있을 것이다.

그림 1은 공장에서 중앙물류센터와 지역물류센터를 통하여 제품을 대리점에 운송하는 구조의 물류시스템을 나타내고 있다. 그림 1에서 각 대리점은 여러 곳의 지역물류센터들 중에서 하나의 지역물류센터와 연결되어 있고, 지역물류센터도 하나의 중앙물류센터와 연결되어 있다. 대리점의 주문크기에 따라서 공장에서 운송할 때 공장에서 중앙물류센터, 공장에서 지역물류센터, 공장에서 대리점에 운송할 수 있고, 중앙물류센터에서 운송할 때 중앙물류센터에서 지역물류센터, 중앙물류센터에서 대리점으로 운송할 수 있고, 그리고 지역물류센터는 대리점으로만 운송할 수 있다.

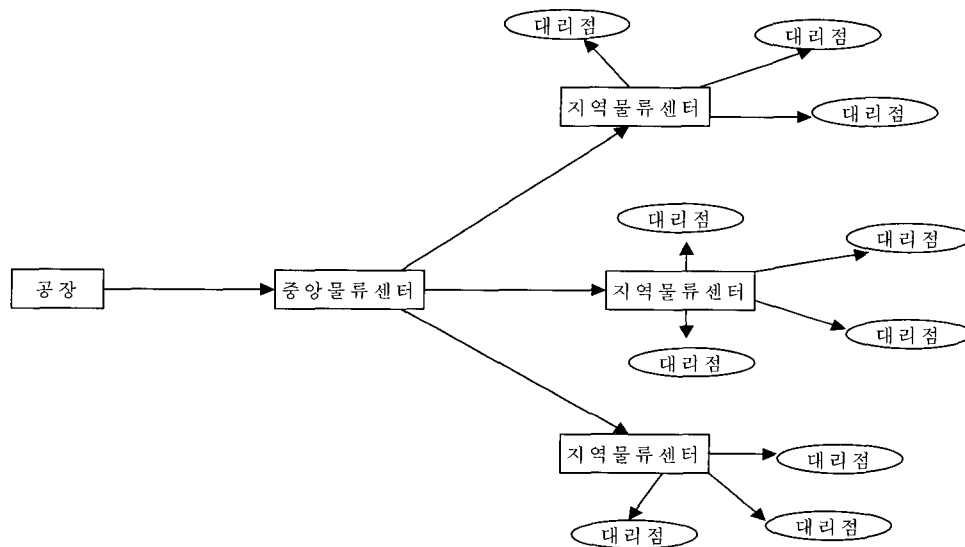
공급처 및 수요처에 대하여 정의한다. 공장, 중앙물류센터, 지역물류센터, 대리점사이에서 공장은 공급처 나머지는 수요처 역할을 하고, 중앙물류센터, 지역물류센터, 대리점사이에서 중앙물류센터는 공급처, 나머지는 수요처 역할을 하고, 지역물류센터와 대리점 사이에서 지역물류센터는 공급처, 대리점은 수요처 역할을 한다.

단위기간동안 대리점의 수요량은 일정하게 알려져 있다. 대리점이 제품을 공급처에 발주하는 방식으로 정량발주, 정기발주가 있다. 여기서는 정기발주로 하는 것으로 한다. 정기발주는 주어진 일정기간동안에 발생한 수요량을 발주하는 것으로 주문량을 한번에 모두 운송하는 것으로 한다. 대리점의 주문크기는 주어진 정기발주기간 T 동안 대리점의 수요량으로 한다. 이 수요량이 운송경로를 통하여 공장에서 대리점에 기간 T 에 운송될 수량이 된다.

대리점의 주문크기에 따라 공장에서 대리점까지의 운송경로, 물류센터의 크기, 차량의 크기 및 차량의 수 등의 의사결정 요인을 비용요소를 고려하여 경제적으로 결정한다. 비용요소는 운송비용, 취급비용 및 재고비용 등이 있다. 물류시스템에서 발생하는 운송비용, 취급비용, 재고비용을 합한 총비용을 최소화할 수 있도록 의사결정 요인을 결정한다. 중앙물류센터, 지역물류센터, 대리점에서 재고부족은 발생하지 않고, 필요할 때 제품은 즉시 운송되는 것으로 한다. 즉, 차량의 운송 일정계획이 재고부족과 같은 현상을 발생시키지 않는 것으로 가정한다.

각 공급처는 수요처의 범위가 정해져 있다. 각 수요처는 가능한 공급처들 중에서 정해진 공급처로부터 제품을 공급받는다. 대리점은 지역물류센터, 이 지역물류센터에 공급하는 중앙물류센터, 공장 등의 3개의 공급처 중 하나의 공급처로부터만 제품을 공급받는다. 지역물류센터는 중앙물류센터와 공장에서 제품을 공급받을 수 있다. 어느 공급처에서 공급받을 것인가를 결정하는데 있어서 주문크기를 이용한다. 모형을 나타내기 위하여 다음의 부호들을 정의한다.

- i = 대리점을 나타내는 첨자
- l = 지역물류센터를 나타내는 첨자
- j = 중앙물류센터를 나타내는 첨자
- s = 물류단계를 나타내는 첨자, $s=1$ 이면 공장, $s=2$ 이면 중앙물류센터, $s=3$ 이면 지역물류센터, $s=4$ 이면 대리점을 나타냄
- k_s = 물류단계 s 에서 사용하는 차량종류에 대한 첨자



<그림 1> 다단계 물류시스템

- r_i = 대리점 i 의 단위기간동안의 수요량
 - T = 정기 발주기간
 - R_i = 대리점 i 의 주어진 발주기간 T 동안 수요량,
 $R_i = r_i T$ /단위기간
 - d_{mn} = 각 공급처 m 에서 각 수요처 n 사이의 거리
 - q_{sk} = 물류단계 s 에서 차량종류 k_s 을 사용할 때 차량의 운송능력
 - c_{sk} = 물류단계 s 에서 차량종류 k_s 을 사용할 때 운송비용/차량/km
 - h_i = 대리점 i 에서 재고유지비용/개/단위기간
 - mh_{1j} = 중앙물류센터 j 에서 취급비용/개
 - mh_{2l} = 지역물류센터 l 에서 취급비용/개
 - A_{11} = 공장 1에서 직접 공급받는 중앙물류센터의 집합
 - A_{2l} = 공장 1에서 제품을 직접 공급받는 지역물류센터의 집합
 - A_{3i} = 공장 1에서 제품을 직접 공급받는 대리점의 집합
 - A_{4j} = 중앙물류센터 j 에서 제품을 공급받는 지역물류센터의 집합
 - A_{5j} = 중앙물류센터 j 에서 제품을 공급받는 대리점의 집합
 - A_{6l} = 지역물류센터 l 에서 제품을 공급받는 대리점의 집합
 - θ = 차량의 평균 이용률
 - V = 차량의 평균 속도
 - ω = pickup 및 drop off 시간
 - y_{sk} = 1, 물류단계 s 에서 차량 종류 k_s 을 사용하면, 0, 사용하지 않으면
- 공장에서 대리점까지의 운송경로를 대리점의 주문크

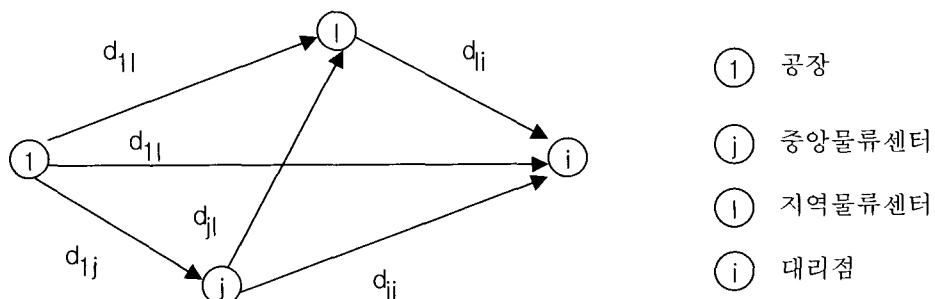
기에 따라서 결정한다. 대리점 i 는 공장 1에서 시작하여 중앙물류센터 j , 지역물류센터 l 을 경유하여 제품을 운송 받을 수 있는 그림 2와 같은 운송경로 네트워크가 있다. 대리점 i 와 연결된 중앙물류센터 j 와 지역물류센터 l 의 위치는 하나씩 정해져 있다. 공장인 마디 1에서 소비지인 i 까지 제품을 운송할 때 여러 개의 운송경로가 있다. 각 운송경로마다 발생하는 비용이 다르다.

마디 1에서 마디 i 까지 제품을 운송하기까지 발생하는 비용요소는 선에서 발생하는 운송비용, 물류센터인 마디 j 와 l 에서 제품의 취급비용, 대리점인 마디 i 에서 재고비용 등이 있다. 운송경로 및 차량의 크기에 따라 선에서의 운송비용, 마디에서의 취급비용, 대리점에서의 재고비용 등이 결정된다. 운송비용은 단위당 운송비용, 운송거리 및 운송횟수에 비례하여 발생하고, 취급비용은 제품단위당 취급비용과 마디를 통과하는 수량에 비례하여 발생하고, 재고비용은 재고유지비용에 대리점에서의 평균재고량에 비례하여 발생한다.

모든 대리점에 대해 대리점의 주문크기에 따라서 각 대리점의 운송경로를 결정하고, 각 공급처에서 수요처로의 운송수량을 구하게 된다. 그림 2와 같이 공장, 중앙물류센터, 지역물류센터, 대리점으로 연결된 네트워크에서 공장에서 대리점까지의 운송경로로 4가지 방법이 존재한다. 이러한 운송경로들 중에서 대리점은 주문크기에 따라서 하나의 운송경로를 통하여 제품을 공급받게 된다.

운송경로 방법 :

- ① 운송경로 1 : 공장에서 중앙물류센터, 지역물류센터를 경유하여 대리점에 운송한다.
- ② 운송경로 2 : 공장에서 중앙물류센터를 경유하여 대리점에 운송한다.
- ③ 운송경로 3 : 공장에서 지역물류센터를 경유하여 대



<그림 2> 운송경로 네트워크

리점에 운송한다.

④ 운송경로 4 : 공장에서 직접 대리점에 운송한다.

다단계 물류시스템에서 차량의 운송크기는 동일한 단계이면 같지만, 단계가 다르면 다르다. 대리점의 주문크기와 공급처의 차량크기를 비교하여 운송경로를 결정한다. 대리점의 주문크기가 크면 운송능력이 큰 공급처의 차량을 이용하여 공급받는 것이 경제적이고, 주문크기가 적으면 운송능력이 적은 공급처의 차량을 이용하여 공급받는 것이 경제적이다. 주문크기에 따라 어느 운송경로를 통하여 제품을 운송 받는 것이 경제적인지를 정한다.

운송경로 결정기준을 나타낸다. 아래의 운송경로 결정기준은 주어진 기간동안의 대리점의 수요량의 크기와 차량의 운송능력 크기를 이용하여 운송경로를 결정하는 방법이다. 주어진 기간동안 수요량이 많은 대리점부터 적은 대리점의 순서로 대리점들을 배열한다. 그리고 모든 대리점들의 수요량의 합을 구하고, 수요량의 합에 대한 각 대리점의 수요 비율, p_i 을 구하고, 수요량이 많은 대리점부터 누적 비율, P_i 을 구한다. 공장에서 사용하는 차량의 종류가 k_1 이고, 중앙물류센터에서 사용하는 차량의 종류가 k_2 이고, 지역물류센터에서 사용하는 차량의 종류가 k_3 라 할 때, 대리점의 수요량 R_i 과 누적비율 P_i , 공급처에서 차량의 운송크기 q_{1k_1} , q_{2k_2} , q_{3k_3} 을 사용하여 대리점 i 의 운송경로를 다음의 기준을 적용하여 구한다. 각 대리점에 대하여 기준 (a), (b), (c), (d)의 순서로 적용하여 가장 먼저 해당하는 운송경로 방법으로 운송한다.

운송경로 결정기준 :

- (a) 대리점 i 의 수요량 R_i 이 $\frac{R_i}{q_{2k_2}} \geq 1$ 이거나, 또는 누적비율 P_i 가 $P_i \leq \alpha_1$ 이면, 대리점 i 는 운송경로 4를 사용한다.
- (b) 대리점 i 의 수요량 R_i 이 $\frac{R_i}{q_{2k_2}} < 1$ 이고 $\frac{R_i}{q_{3k_3}} \geq 1$ 이거나, 또는 누적비율 P_i 가 $\alpha_1 < P_i \leq \alpha_2$ 이면, 대리점 i 는 운송경로 2를 사용한다.
- (c) 대리점 i 의 수요량 R_i 이 $1 > \frac{R_i}{q_{3k_3}} > \beta$ ($0 < \beta < 1$) 이고 누적비율 P_i 가 $\alpha_2 < P_i \leq 1$ 이면, 대리점 i 는 운송경로 3을 사용한다.
- (d) 대리점 i 의 수요량 R_i 이 $\frac{R_i}{q_{3k_3}} \leq \beta$ 이고 누적비율

를 P_i 가 $\alpha_2 < P_i \leq 1$ 이면, 대리점 i 는 운송경로 1을 사용한다.

여기서 $0 \leq \alpha_1 \leq \alpha_2 \leq 1$ 의 관계가 성립한다. 그리고 α_1 , α_2 , β 는 상수로 전략적으로 범위를 주고, 범위 내에서 적절한 값으로 결정된다.

3. 운송경로 및 공급처의 차량 결정

대리점은 주어진 기간동안의 수요량인 주문크기에 따라 가능한 운송경로들 중에서 어느 운송경로를 이용하여 공급받을 것인가를 결정한다. 앞부분 2에서 제시된 운송경로 결정기준을 적용하여 각 대리점의 운송경로를 구한다. 모든 대리점의 운송경로가 정해지면 공장과 각 물류센터에 대해 각 위치가 운송하게 되는 수요처의 집합과 운송거리 및 운송수량이 결정된다. 그리고 대리점까지 제품을 운송하기 발생하는 운송비용, 취급비용 및 재고비용을 구할 수 있고 또한 총비용을 구할 수 있다. 그러나 대리점의 운송경로를 결정하기 위한 전략적 상수를 수리적 방법으로 구하는 것은 간단치 않다. 가장 합리적인 비용을 나타내는 전략적 상수를 구하기 위해서는 전략적 상수의 범위를 주고, 주어진 범위에서 값을 변화시키면서 비용을 구하여, 가장 적은 비용을 나타내는 상수의 값을 구하는 방식으로 한다. 즉, 공급처의 차량의 크기 종류와 각 운송경로를 이용하는 전략적 상수를 변화시키면서 비용을 적게 발생시키는 차량의 크기와 전략적 상수를 결정한다.

정기발주기간동안의 대리점의 수요량을 운반한다. 차량은 한번의 운송에 하나의 대리점만 방문하여 운송한다. 차량의 크기와 대리점의 주문크기에 따라서 운송횟수가 결정된다. 대리점의 주문크기가 공급처의 차량단위보다 적으면 한번의 운송을 하게 된다. 대리점의 주문크기가 공급처의 차량단위를 초과하는 경우는 다수의 운송을 하지만 동시에 운송한다. 여기서의 의사결정요인은 공장에서 대리점까지의 운송경로, 각 공급처에서 필요한 차량의 크기 종류와 수, 그리고 물류센터의 취급수량이다. 비용은 각 공급처에서 수요처로 운송되는 제품에 대한 운송비용과 물류센터에서 발생하는 취급비용과 대리점에서의 재고비용을 반영한다.

운송비용은 공장에서 중앙물류센터, 지역물류센터, 대리점으로 운송비용, 중앙물류센터에서 지역물류센터, 대리점으로 운송비용 및 지역물류센터에서 대리점으로 운송비용의 합이다. 각 공급처의 운송차량의 크기를 고려하여 주어진 기간동안 모든 대리점의 수요량에 해당하

는 수량을 운송할 때 발생하는 운송비용의 합은 식 (1) 과 같이 나타내진다.

$$Z_1 = [\sum_{k_1} (\sum_{j \in A_{11}} c_{1k_1} N_{1jk_1} d_{1j} + \sum_{l \in A_{21}} c_{1k_1} N_{1lk_1} d_{1l} + \sum_{i \in A_{31}} c_{1k_1} N_{1ik_1} d_{1i}) y_{1k_1} + \sum_{k_2} (\sum_j \sum_{l \in A_{4j}} c_{2k_2} N_{jlk_2} d_{jl} + \sum_j \sum_{i \in A_{5j}} c_{2k_2} N_{jik_2} d_{ji}) y_{2k_2} + \sum_{k_3} (\sum_l \sum_{i \in A_{6l}} c_{3k_3} N_{lik_3} d_{li}) y_{3k_3}] \dots (1)$$

여기서 공급처에서 수요처로 운송횟수, 대리점의 주문크기인 수요량, 공급처 차량의 운송크기 사이에 다음의 관계가 성립한다.

$$N_{1jk_1} = [\sum_{i \in A_{11}} (\sum_{i \in A_{5j}} R_i + \sum_{l \in A_{4j}} \sum_{i \in A_{6l}} R_i) / q_{1k_1}]^+ \dots (2)$$

$$N_{1lk_1} = [\sum_{i \in A_{21}} R_i / q_{1k_1}]^+, \quad \forall l \dots (3)$$

$$N_{1ik_1} = [R_i / q_{1k_1}]^+, \quad \forall i \dots (4)$$

$$N_{jlk_2} = [\sum_{i \in A_{6l}} R_i / q_{2k_2}]^+, \quad \forall j, \forall l \dots (5)$$

$$N_{jik_2} = [R_j / q_{2k_2}]^+, \quad \forall j, \forall i \dots (6)$$

$$N_{lik_3} = [R_i / q_{3k_3}]^+, \quad \forall l, \forall i \dots (7)$$

여기서 $[x]^+$ 는 x 보다 적지 않는 가장 적은 정수를 나타내고, N_{1jk_1} 은 공장에서 중앙물류센터 j 까지 운송횟수, N_{1lk_1} 은 공장에서 지역물류센터 l 까지 운송횟수, N_{1ik_1} 은 공장에서 대리점 i 까지 운송횟수, N_{jlk_2} 은 중앙물류센터 j 에서 지역물류센터 l 까지 운송횟수, N_{jik_2} 은 중앙물류센터 j 에서 대리점 i 까지 운송횟수, N_{lik_3} 은 지역물류센터 l 에서 대리점 i 까지 운송횟수를 나타낸다. $N_{1jk_1}, N_{1lk_1}, N_{1ik_1}, N_{jlk_2}, N_{jik_2}, N_{lik_3}$ 는 정수이다.

그리고 각 공급처 단계별로 동일한 하나의 차량크기를 사용해야 하므로 식(8), (9), (10)와 같은 관계식이 존재한다.

$$\sum_{k_1} y_{1k_1} = 1 \dots (8)$$

$$\sum_{k_2} y_{2k_2} = 1 \dots (9)$$

$$\sum_{k_3} y_{3k_3} = 1 \dots (10)$$

취급비용은 중앙물류센터와 지역물류센터에서 취급하는 수량에 비례하여 발생한다. 취급비용함수는 다음의

식(11)과 같이 나타내진다.

$$Z_2 = \sum_j mh_{1j} (\sum_{i \in A_{5j}} R_i + \sum_{l \in A_{4j}} \sum_{i \in A_{6l}} R_i) + \sum_l mh_{2l} (\sum_{i \in A_{6l}} R_i) \dots (11)$$

주어진 발주기간동안 발생한 수요를 동시에 운송하여 충족시키고, 모든 대리점에 대해 발주기간 T 마다 한번의 운송이 이루어지는 것으로 가정하기 때문에 모든 발주주기에 대해 대리점 i 의 평균 재고량은 $R_i/2$ 이 된다. 발주기간 T 동안에 발생한 단위당 재고유지비용은 hT /단위기간 이 된다. 따라서 대리점 i 의 평균 재고비용은 식 (12)과 같이 나타내진다. 정기발주기간 T 가 결정변수가 아니고, 일정하게 주어진 것이기 때문에 재고비용은 문제에서 의사결정변수의 영향을 받지 않는다. 따라서 재고비용은 생략할 수 있다.

$$Z_3 = \sum_i h(R_i/2)(T/\text{단위기간}) \dots (12)$$

운송경로 결정기준을 사용하여 대리점까지의 운송경로를 구하고, 운송경로에 따라 비용을 구한다. 비용함수는 공급처에서 수요처로의 운송비용, 물류센터에서의 취급비용, 대리점에서의 재고비용의 합으로 한다. 대리점들의 가능한 운송경로들 중에서 이 비용함수를 최소화하는 대리점들의 운송경로를 구하고, 이 운송경로에 해당하는 각 공급처에서 사용할 차량의 종류 $y_{k_1}, y_{k_2}, y_{k_3}$ 와 전략적 상수 $\alpha_1, \alpha_2, \beta$ 을 구한다. 이를 구하는 수리적모형은 P1과 같이 나타내진다.

$$\begin{aligned} \text{P1 : Minimize } & Z(y_{1k_1}, y_{2k_2}, y_{3k_3}, \alpha_1, \alpha_2, \beta) \\ & = \sum_{k_1} (\sum_{j \in A_{11}} c_{1k_1} N_{1jk_1} d_{1j} + \sum_{l \in A_{21}} c_{1k_1} N_{1lk_1} d_{1l} + \sum_{i \in A_{31}} c_{1k_1} N_{1ik_1} d_{1i}) y_{1k_1} \\ & + \sum_{k_2} (\sum_j \sum_{l \in A_{4j}} c_{2k_2} N_{jlk_2} d_{jl} + \sum_j \sum_{i \in A_{5j}} c_{2k_2} N_{jik_2} d_{ji}) y_{2k_2} \\ & + \sum_{k_3} (\sum_l \sum_{i \in A_{6l}} c_{3k_3} N_{lik_3} d_{li}) y_{3k_3}] \\ & + \sum_j mh_{1j} (\sum_{i \in A_{5j}} R_i + \sum_{l \in A_{4j}} \sum_{i \in A_{6l}} R_i) \\ & + \sum_l mh_{2l} (\sum_{i \in A_{6l}} R_i) + \sum_i h(R_i/2)(T/\text{단위기간}) \end{aligned} \dots (13)$$

subject to $\sum_{k_1} y_{1k_1} = 1$

$$\begin{aligned} \sum_{k_2} y_{2k_2} &= 1 \\ \sum_{k_3} y_{3k_3} &= 1 \\ y_{1k_1} &= 0, 1, \quad \forall k_1 \\ y_{2k_2} &= 0, 1, \quad \forall k_2 \\ y_{3k_3} &= 0, 1, \quad \forall k_3 \end{aligned}$$

위의 모형에서 의사결정변수는 $y_{1k_1}, y_{2k_2}, y_{3k_3}$ 와 전략적 상수 $\alpha_1, \alpha_2, \beta$ 가 있다. 이중에서 $\alpha_1, \alpha_2, \beta$ 는 전략적으로 결정되는 상수이다. 이 전략적 상수에 따라서 집합 $A_{11}, A_{21}, A_{31}, A_{4j}, A_{5j}, A_{6l}$ 의 집합요소를 구한다. 상수 $\alpha_1, \alpha_2, \beta$ 의 범위를 전략적으로 주고, 주어진 범위에서 값을 변화시키면서 비용을 구하여 가장 적은 비용을 갖는 $\alpha_1, \alpha_2, \beta$ 을 결정하고, 차량의 종류를 결정한다.

모형 P1에서 구한 가장 적은 비용을 갖는 $y_{1k_1}, y_{2k_2}, y_{3k_3}$ 와 $\alpha_1, \alpha_2, \beta$ 에 대하여 각 공급처에서 필요한 차량의 수를 구한다.

공장에서의 수요처까지 운송거리는 D_{1k_1} 이고, 식 (14)과 같이 나타내지며, 제품을 싣고 내리는 시간, Φ_{1k_1} 는 식 (15)과 같다. 왕복운송거리 $2D_{1k_1}, \Phi_{1k_1}, V$ 와 필요한 차량의 수, M_{1k_1} 사이의 관계는 식 (16)과 같이 나타내진다.

$$D_{1k_1} = \sum_{j \in A_{11}} N_{1jk_1} d_{1j} + \sum_{i \in A_{21}} N_{1ik_1} d_{1i} + \sum_{i \in A_{31}} N_{1ik_1} d_{1i} \quad (14)$$

$$\Phi_{1k_1} = 2 \left(\sum_{j \in A_{11}} N_{1jk_1} \omega + \sum_{i \in A_{21}} N_{1ik_1} \omega + \sum_{i \in A_{31}} N_{1ik_1} \omega \right) \quad (15)$$

$$2D_{1k_1} / V + \Phi_{1k_1} \leq \theta TM_{1k_1} \quad (16)$$

그러므로 공장에서 필요한 차량의 최소 수는 식 (17)을 만족하는 가장 적은 정수이다.

$$M_{1k_1} \geq [2D_{1k_1} / V + \Phi_{1k_1}] / \theta T \quad (17)$$

중앙물류센터 j 에서 수요처로까지 운송거리는 D_{2jk_2} 이고, 식 (18)과 같이 나타내지며, 제품을 싣고 내리는 시간, Φ_{2jk_2} 는 식 (19)과 같다. 왕복운송거리 $2D_{2jk_2}, \Phi_{2jk_2}, V$ 와 필요한 차량의 수, M_{2jk_2} 사이의 관계는 식 (20)과 같이 나타내진다.

$$D_{2jk_2} = \sum_{i \in A_{4j}} N_{ijk_2} d_{ji} + \sum_{i \in A_{5j}} N_{ijk_2} d_{ji}, \quad \forall j \quad (18)$$

$$\Phi_{2jk_2} = 2 \left(\sum_{i \in A_{4j}} N_{ijk_2} \omega + \sum_{i \in A_{5j}} N_{ijk_2} \omega \right), \quad \forall j \quad (19)$$

$$2D_{2jk_2} / V + \Phi_{2jk_2} \leq \theta TM_{2jk_2}, \quad \forall j \quad (20)$$

그러므로 중앙물류센터 j 에서 필요한 차량의 최소 수는 식 (21)을 만족하는 가장 적은 정수이다.

$$M_{2jk_2} \geq [2D_{2jk_2} / V + \Phi_{2jk_2}] / \theta T, \quad \forall j \quad (21)$$

지역물류센터 l 에서 수요처까지 운송거리는 D_{3lk_3} 이고, 식 (22)과 같이 나타내지며, 제품을 싣고 내리는 시간, Φ_{3lk_3} 는 식 (23)과 같다. 왕복운송거리 $2D_{3lk_3}, \Phi_{3lk_3}, V$ 와 필요한 차량의 수, M_{3lk_3} 사이의 관계는 식 (24)과 같이 나타내진다.

$$D_{3lk_3} = \sum_{i \in A_{6l}} N_{lik_3} d_{li}, \quad \forall l \quad (22)$$

$$\Phi_{3lk_3} = 2 \sum_{i \in A_{6l}} N_{lik_3} \omega, \quad \forall l \quad (23)$$

$$2D_{3lk_3} / V + \Phi_{3lk_3} \leq \theta TM_{3lk_3}, \quad \forall l \quad (24)$$

그러므로 지역물류센터 l 에서 필요한 차량의 최소 수는 식 (25)을 만족하는 가장 적은 정수이다.

$$M_{3lk_3} \geq [2D_{3lk_3} / V + \Phi_{3lk_3}] / \theta T, \quad \forall l \quad (25)$$

가장 적은 비용을 갖는 $y_{1k_1}, y_{2k_2}, y_{3k_3}$ 와 $\alpha_1, \alpha_2, \beta$ 에 대하여 물류센터의 취급수량을 구한다. 중앙물류센터 j 의 취급수량 Nh_{1j} 은 식 (26)과 같고, 지역물류센터 l 의 취급수량 Nh_{2l} 은 식 (27)과 같다.

$$Nh_{1j} = \sum_{i \in A_{5j}} R_i + \sum_{i \in A_{4j}} \sum_{i \in A_{6l}} R_i, \quad \forall j \quad (26)$$

$$Nh_{2l} = \sum_{i \in A_{6l}} R_i, \quad \forall l \quad (27)$$

비용을 가장 적게 발생시키는 대리점의 운송경로, 각 공급처의 차량의 크기 종류 및 수, 상수 $\alpha_1, \alpha_2, \beta$ 을 구하고, 각 공급처에서 필요한 차량의 최소 수를 구하는 절차는 다음과 같다.

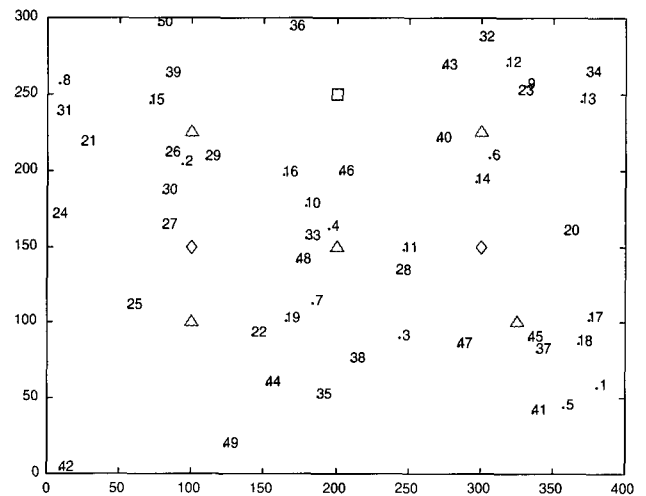
해를 구하는 절차 :

- (1) $k_1=1, k_2=1, k_3=1, \alpha_{1b}, \alpha_{1w}, \alpha_{2b}, \alpha_{2w}, \beta_b, \beta_w$ 을 주고, $\alpha_1 = \alpha_{1b}, \alpha_2 = \alpha_{2b}, \beta = \beta_b, \gamma = 0.01, Z_0 = \infty$ 놓는다.

- (2) 운송경로 결정기준을 이용하여 각 대리점의 운송 경로를 구한다. 그리고 집합 $A_{11}, A_{21}, A_{31}, A_{4j}, A_{5b}, A_{6i}$ 을 구한다.
- (3) 식 (2) - (7)를 이용하여 공급처에서의 운송횟수, $N_{1jk_1}, N_{1lk_1}, N_{1ik_1}, N_{jlk_2}, N_{jik_2}, N_{lik_3} (\forall i, \forall l, \forall j)$ 를 계산한다. 그리고, 물류센터에서의 취급수량, $\sum_{i \in A_{5j}} R_i + \sum_{i \in A_{4j}} \sum_{i \in A_{6i}} R_i, \sum_{i \in A_{6i}} R_i$ 을 계산한다.
- (4) 수리적모형 P1의 해를 구하고, 비용 $Z(y_{k_1}, y_{k_2}, y_{k_3}, \alpha_1, \alpha_2, \beta)$ 을 계산한다.
- (5) $Z_0 > Z(y_{k_1}, y_{k_2}, y_{k_3}, \alpha_1, \alpha_2, \beta)$ 이면, $Z_0 = Z(y_{k_1}, y_{k_2}, y_{k_3}, \alpha_1, \alpha_2, \beta)$ 을 대입하고, $k_1, k_2, k_3, \alpha_1, \alpha_2, \beta, A_{11}, A_{21}, A_{31}, A_{4j}, A_{5b}, A_{6i}$ 의 값을 기록한다.
- (6) $\beta = \beta + \gamma$ 놓는다. $\beta > \beta_u$ 이면, 다음단계로 가고, 그렇지 않으면, 단계 (2)로 간다.
- (7) $\alpha_2 = \alpha_2 + \gamma$ 놓는다. $\alpha_2 > \alpha_{2u}$ 이면, 다음단계로 가고, 그렇지 않으면, $\beta = \beta_l$ 놓고 단계 (2)로 간다.
- (8) $\alpha_1 = \alpha_1 + \gamma$ 놓는다. $\alpha_1 > \alpha_{1u}$ 이면, 다음단계로 가고, 그렇지 않으면, $\alpha_2 = \alpha_{2l}, \beta = \beta_l$ 놓고 단계 (2)로 간다.
- (9) $k_3 = k_3 + 1$ 놓는다. $k_3 > K_3$ 이면, 다음단계로 가고, 그렇지 않으면, $\alpha_1 = \alpha_{1l}, \alpha_2 = \alpha_{2l}, \beta = \beta_l$ 놓고 단계 (2)로 간다.
- (10) $k_2 = k_2 + 1$ 놓는다. $k_2 > K_2$ 이면, 다음단계로 가고, 그렇지 않으면, $k_3 = 1, \alpha_1 = \alpha_{1l}, \alpha_2 = \alpha_{2l}, \beta = \beta_l$ 놓고 단계 (2)로 간다.
- (11) $k_1 = k_1 + 1$ 놓는다. $k_1 > K_1$ 이면, 다음단계로 가고, 그렇지 않으면, $k_2 = 1, k_3 = 1, \alpha_1 = \alpha_{1l}, \alpha_2 = \alpha_{2l}, \beta = \beta_l$ 놓고 단계 (2)로 간다.
- (12) 단계 (5)에서 기록된 최소비용을 나타내는 $k_1, k_2, k_3, \alpha_1, \alpha_2, \beta, A_{11}, A_{21}, A_{31}, A_{4j}, A_{5l}, A_{6i}$ 에 대하여 식 (17), (21), (25)들을 적용하여 각 공급처에서 필요한 차량의 수, $M_{1k_1}, M_{2jk_2}, M_{3lk_3}$ 을 구하고, 중앙물류센터에서의 취급수량 $\sum_{i \in A_{5j}} R_i + \sum_{i \in A_{4j}} \sum_{i \in A_{6i}} R_i$, 지역물류센터에서의 취급수량 $\sum_{i \in A_{6i}} R_i$ 을 구한다. 그리고 멈춘다.

그림 3에서와 같이 1개의 공장과 2개의 중앙물류센터, 5개의 지역물류센터, 그리고 50개의 대리점으로 이루어진 다단계 물류시스템을 생각하자. 대리점들이 위치하고 있는 좌표는 가로 400km, 세로 300km인 평면에서 균일하게 임의로 난수를 이용하여 생성된 것이다. 그림에서 □는 공장, ◇는 중앙물류센터, △는 지역물류센터의 위치를 나타내는 것으로 임의로 정한 것이다. 대리점이 지역물류센터를 이용할 경우에는 거리가 가장 가까운 물류센터를 이용하는 것으로 한다. 대리점이 중앙물류센터를 이용할 경우 가장 가까운 지역물류센터가 속한 중앙물류센터에서 제품을 운송 받는다.

대리점들의 좌표와 단위기간 10시간동안 대리점들의 수요량은 표 1과 같다. 각 대리점의 수요량은 [5, 65]사이의 균일분포에서 생성된 것을 정수부분으로 반올림한 것이다. 각 공급처의 위치 좌표는 표 2와 같다. 각 공급처에서 사용하는 차량의 종류와 단위당 운송비용은 공장에서 운송하는 차량의 용량은 80이고, 비용은 80/km으로 한 종류이고, 중앙물류센터에서 사용하는 차량의 용량은 50, 60이고, 비용은 50/km, 60/km으로 두 종류가 있고, 지역물류센터에서 사용하는 차량의 용량은 20, 30, 40이고, 비용은 20/km, 25/km, 30/km으로 세 종류가 있다. 취급비용은 중앙물류센터에서는 단위당 20이고, 지역물류센터에서는 단위당 20으로 한다. 재고유지비용은 10/(10시간)이다. 그리고 $\alpha_1, \alpha_2, \beta$ 의 값은 $0.1 \leq \alpha_1 \leq 0.2, 0.30 \leq \alpha_2 \leq 0.50, 0.6 \leq \beta \leq 0.9$ 사이에서 값을 갖는 것으로 하고, $\gamma=0.02$ 의 간격으로 해를 구하는 것으로 한다. 차량에 제품을 싣고 내리는데 걸리는 시간은 차량의 크기에 관계없이 동일하게 0.25시간으로 한다. 차량의 평균속도는 1시간에 70km이고, 차량의 이용률은 90%로 한다.



<그림 3> 공장, 물류센터 및 대리점의 배치

4. 수치적 예제

<표 1> 대리점의 위치 좌표와 수요량

대리점	(X, Y)	좌표	수요량	대리점	(X, Y)	좌표	수요량	대리점	(X, Y)	좌표	수요량
1	(380.1,	58.0)	30	2	(92.5,	204.7)	36	3	(242.7,	90.8)	25
4	(194.4,	162.5)	31	5	(356.5,	45.3)	19	6	(304.8,	209.4)	40
7	(182.6,	113.5)	51	8	(7.4,	258.0)	37	9	(328.6,	256.1)	43
10	(177.9,	178.1)	18	11	(246.2,	149.0)	28	12	(316.8,	269.9)	52
13	(368.7,	246.5)	46	14	(295.3,	193.5)	33	15	(70.5,	245.4)	39
16	(162.3,	198.1)	53	17	(374.2,	102.6)	9	18	(366.8,	86.9)	41
19	(164.1,	102.4)	8	20	(357.5,	160.2)	30	21	(23.2,	218.1)	23
22	(141.1,	92.8)	57	23	(325.3,	251.5)	6	24	(3.9,	170.4)	51
25	(55.6,	111.1)	63	26	(81.1,	210.8)	64	27	(79.5,	164.0)	52
28	(241.5,	133.5)	31	29	(108.9,	208.4)	35	30	(79.5,	186.4)	18
31	(6.1,	238.4)	44	32	(298.7,	287.1)	24	33	(178.0,	156.8)	63
34	(372.7,	264.0)	49	35	(186.4,	51.9)	30	36	(167.5,	293.9)	50
37	(338.5,	81.4)	21	38	(210.1,	75.7)	31	39	(81.1,	262.7)	61
40	(268.9,	221.2)	46	41	(335.2,	41.0)	18	42	(7.9,	3.5)	55
43	(272.5,	268.2)	43	44	(151.8,	59.7)	13	45	(332.7,	89.6)	17
46	(201.1,	198.4)	41	47	(283.8,	85.3)	43	48	(171.6,	140.8)	27
49	(121.8,	19.4)	40	50	(75.9,	296.5)	30				

<표 2> 공급처의 위치 좌표

위 치	좌 표
공장	(200, 250)
중앙물류센터 1	(100, 150)
중앙물류센터 2	(300, 150)
지역물류센터 1	(100, 225)
지역물류센터 2	(300, 225)
지역물류센터 3	(200, 150)
지역물류센터 4	(100, 100)
지역물류센터 5	(325, 100)

정기발주기간, $T=10$ 시간으로 한다. 운송경로 결정 기준을 사용하여 프로그램을 개발하여 해를 구하였다. 최소비용을 나타내는 공급처의 차량의 종류는 공장은 운송능력이 80이고, 중앙물류센터는 운송능력이 50이고, 지역물류센터는 운송능력이 40이고, 전략적 상수 $\alpha_1=0.2$, $\alpha_2=0.5$, $\beta=0.66$ 이다. 이는 대리점의 주문크기가 50 이상이면 공장에서 대리점으로 직접운송하고, 40 이상 50 미만이면 공장, 중앙물류센터, 대리점의 경로로 운송하고, 27이상 40미만이면 공장, 지역물류센터, 대리점의 경로로 운송하고, 26이하이면 공장, 중앙물류센터, 지역물류센터, 대리점의 경로로 운송함을 의미한다. 최소비용은 483,700이고, 이 비용을 나타내는 해에서 대리점의 운송경로 번호는 표 3에 나타난 것과 같고, 각 공급처에서 수요처로의 운송거리 및 필요한 차량의 수, 각 물류센터에서의 취급수량은 표 4에 나타난 것과 같다. 취급수량은 물류센터의 규모를 결정하는 기준이 된다.

대리점의 수요량의 크기에 관계없이 모든 대리점에 대해 공장, 중앙물류센터, 지역물류센터, 대리점의 운송 단계를 모두 경유하며 제품을 운송하는 경우에 대하여 비용, 공급처의 차량의 크기 및 물류센터의 취급수량을 구하였다. 비용은 618,500이고, 차량 크기종류는 공장에서 80, 중앙물류센터에서 50, 지역물류센터에서 30이다. 그리고 각 공급처의 운송거리, 차량 수 및 취급수량은 표 5에 나타나 있다.

<표 3> 대리점의 운송경로

대리점	운송 경로	대리점	운송 경로	대리점	운송 경로
1	3	2	3	3	1
4	3	5	1	6	2
7	4	8	3	9	2
10	1	11	3	12	4
13	2	14	3	15	3
16	4	17	1	18	2
19	1	20	3	21	1
22	4	23	1	24	4
25	4	26	4	27	4
28	3	29	3	30	1
31	2	32	1	33	4
34	2	35	3	36	4
37	1	38	3	39	4
40	2	41	1	42	4
43	2	44	1	45	1
46	2	47	2	48	3
49	2	50	3		

모든 대리점에 대해 모든 운송단계를 차례로 경유하며 운송하는 경우가 수요량의 크기에 따라서 일부의 운송단계를 경유하며 운송할 수 있는 경우에 비해 전체적인 비용에서 134,800이 적다. 이는 대리점의 수요량의 크기에 따라서 운송단계 중에서 일부의 단계를 경유하지 않고 운송하는 방법이 경제적임을 보여준다. 그리고 모든 운송단계를 경유하며 운송하는 경우가 지역물류센터에서 차량의 용량크기가 적으며, 차량의 수는 많고, 물류센터에서의 취급수량이 많게 나타났다.

<표 4> 공급처에서의 운송거리, 차량의 수 및 취급수량

위 치	운송거리 (km)	차량의 수	취급수량
공 장	4017	15	1817
중앙물류센터 1	698	3	230
중앙물류센터 2	968	4	465
지역물류센터 1	371	2	220
지역물류센터 2	131	1	63
지역물류센터 3	378	2	199
지역물류센터 4	165	1	43
지역물류센터 5	346	2	144

<표 5> 공급처에서의 운송거리, 차량의 수 및 취급수량
(모든 운송단계 경유)

위 치	운송거리 (km)	차량의 수	취급수량
공 장	3394	13	1817
중앙물류센터 1	2025	8	1207
중앙물류센터 2	880	4	610
지역물류센터 1	1551	7	542
지역물류센터 2	850	4	382
지역물류센터 3	880	4	407
지역물류센터 4	819	4	258
지역물류센터 5	521	3	228

5. 결 론

공장, 중앙물류센터, 지역물류센터 및 대리점으로 이어진 다단계 물류시스템에서 공장에서 대리점에 제품이 운송되기까지 경유하는 운송경로를 대리점의 주문크기에 따라서 다르게 하는 경우에 경제적 설계에 관한 내용을 연구하였다. 대리점의 주문크기에 따라서 주문량이 많으면 공장에서, 중간이면 중앙물류센터에서, 적으면 지역물류센터에서 공급받을 수 있다. 경제적 설계는 물류시스템에서 발생하는 비용을 고려하여 물류시스템을 구성하는 요소들의 적절한 규모를 결정하는 것이다. 비용은 각 공급처에서 수요처로의 운송비용, 물류센터에서

의 취급비용, 대리점의 재고비용 등이 있다. 규모는 운송에서 필요한 차량의 크기 종류, 차량의 수와 물류센터의 취급수량을 구하는 것이다.

대리점의 주문크기에 따라서 운송경로를 결정하는 기준을 제시하였고, 운송비용, 취급비용, 재고비용 등의 합이 최소가 되는 각 대리점까지의 운송경로를 구하였고, 이 운송경로에 해당하는 공급처의 차량의 크기종류와 차량의 수를 결정하였고, 물류센터의 취급수량을 이용하여 물류센터의 규모를 구할 수 있다.

참고문헌

- [1] Fleischmann, B.; "Design of freight traffic networks," *Advanced in Distribution Logistics*, pp. 55-81, 1998
- [2] Bruns, Arno; "A local search heuristic for the two-stage capacitated facility location problem," *Advanced in Distribution Logistics*, pp. 143-164, 1998
- [3] Klein, M. J., and Dekker, R.; "Using break quantities for tactical optimization in multi-stage distribution systems," *Advanced in Distribution Logistics*, pp. 305-317, 1998
- [4] Dekker, R., Kleijn, M.J., and de Kok, A.G.; "The break quantity rule's effect on inventory costs in a 1-warehouse, N-retailers distribution system," *Int. J. of Production Economics*, pp. 56-57, 1998
- [5] Ballou, Ronald H.; *Business Logistics Management*, 4th edition, Prentice-Hall, Inc, 1999
- [6] Kasilingam R.G.; *Logistics and transportation : design and planning*, Kluwer academic publishers, 1998
- [7] Bramel, Julian and Simchi-Levi, David; *The logic of logistics*, Springer-Verlag New York, Inc, 1997
- [8] Daganzo, G. F.; *Logistics Systems Analysis*, Springer, 1999
- [9] Turner, W.G., Ghare, P.M., and Foulds, L.R.; "Transportation routing problem : a survey", *AIIE Transactions.*, 6, pp. 288-301, 1974
- [10] McGavin, E., Schwarz, L.B., and Ward, J.; "Two-interval inventory-allocation policies in a one-warehouse N-identical-retailer distribution system," *Management Science*, 39, pp. 1092-1107, 1993
- [11] Chopra, Sunil and Meindl, Peter; *Supply Chain Management*, Upper Saddle River, New Jersey, 2001
- [12] Ganwsham, Ram; "Managing supply chain inventories : a multiple retailer, one warejouse, multiple supplier model," *Int. J. of Production Economics*, 59, pp. 341-354, 1999
- [13] Nozick, L. K., and Turnquit, M. A.; "A two-echelon inventory allocation and distribution center location analysis," *Transportation Research, Part E*, 37, pp. 425-441, 2001