

물류비용 분석에 의한 물류 네트워크 설계

김경찬* · 하원익** · 남기찬***

Designing Logistics Network by Analysing Total Distribution Costs

Kim, Kyung-Chan · Ha, Won-Ik · Nam, Ki-Chan

Abstract

Logistics may be defined as the design and operation of the physical, managerial and informational systems needed for goods to overcome time and space gap between their production and consumption. Major logistics decisions include facility location, transportation and inventory decision which are incorporated into network design. Such decisions are in nature interdependent and thus cost trade-offs among the associated components exists. Any consideration on this matter should therefore take such concept into account.

This paper attempts to make a contribution to an improved understanding of this area with the aim of analysing the interdependence among these decisions and proposing an integrated model for distribution network design which reflects this interdependence.

1. 서 론

물류관리는 물류 계획 및 설계운영 등의 문제로서 수단과 수송업자 선정, 재고관리, 설비입지 등 폭넓은 범위의 의사결정 문제를 다루어야 한다. 물류 네트워크의 설계와 관련된 의사결정은 전략적 측면의 문제이며, 크게 시설의 수, 위치, 규모 등을 결정하는 입지선정(Facility Location), 수송수단 선택, 수송 네트워크 형태 결정 등을 포함하는 수송의사결정, 재고 정책, 재고 수준 등을 포함하는 재고의사결정 등의 세 가지 요소로 대별할 수 있다. 물류 네트워크 계획의 맥락에서 볼 때, 이 세 가지 의사결정 사이에는 관련된 비용요소들간의 트레이드 오프(trade-off)가 존재하기 때문에 상호의존적이다. 따라서 제반 물류 문제는 총물류비용 관점에서 접근할 때 최적의 계획 및 운영이 가능해진다.

* 한국해양대학교 물류시스템공학과 대학원

** 현대정보기술

*** 한국해양대학교 물류시스템공학과 조교수

이러한 관점에서 본 연구는 수송과 재고 의사결정간의 상호의존성을 분석하고, 이를 반영하는 전략적 물류 네트워크 계획을 위한 통합모형을 제안하며, 이를 일반화된 물류 네트워크에 적용하는 것을 그 목적으로 한다. 분석대상은 직접운송, 터미널을 경유하는 혼재 운송 등의 최적 수송 네트워크 결정, 선적규모에 따른 총물류비용의 민감도 분석, 수단선택 분석, 시설 입지선정 등을 포함한다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 시뮬레이션, 수리계획 모형 등 다양한 방법들이 전체적 혹은 부분적으로 적용될 수 있으나, 본 연구에서는 관련 비용 사이의 트레이드 오프 관계를 분석할 수 있고 상대적으로 적용이 용이한 표준 EOQ모형을 확장하여 적용하였다(Constable 과 Whybark, 1978).

모형을 개발하기 위해서 먼저 단일 수단을 이용하여 단일기점에서 단일 종점으로 재화를 수송하는 경우를 가정하여 수송과 재고비용을 반영하는 총물류식을 유도하고 이를 터미널을 경유하여 혼재를 수행할 때의 총물류비용식으로 확장한다.

최적 네트워크를 구축하는데 있어서 다수의 기·종점이 포함되는 경우 검토해야하는 네트워크 대안은 계산이 불가능할 정도로 많아지는 문제가 있다. 따라서 일반적으로 전체 네트워크를 몇 개의 하부 네트워크로 나누고 각 하부 네트워크별로 최적 네트워크를 구하게 된다. 본 연구와 유사한 Blumenfeld et al(1985)의 연구에서는 기점에서 터미널 간의 선적규모를 고정되어 있다고 가정하고 전체 네트워크를 각각의 단일종점에 대한 하부 네트워크로 분해하여 각 하부네트워크에 대한 총비용을 최소로 하는 노선을 선택함으로써 전체 네트워크에 대한 최적해를 도출하였다. 본고에서는 이와 달리 기점과 터미널간의 선적규모를 혼재를 수행하는 종점의 수요량의 결합에 따라 변하는 것으로 하고 경유수송 해법을 이용하여 임의의 지역에 흩어져 있는 종점들을 몇 개의 하부 네트워크 존으로 분해함으로써 비교 전략의 수를 줄이는 방법을 택하였다.

2. 물류망 계획문제

물류망을 계획하는 문제는 공급지에서 소비지로 제품이 이동되는 망의 구조를 결정하는 것이 된다. 구체적으로 이것은 설비의 종류, 설비의 수, 설비의 위치 등을 결정하고, 각 설비에 특정 제품과 소비자를 할당하며, 이들 사이에 적합한 운송서비스를 결정하고, 설비를 운영하는 방법을 결정하는 것이다.

물류망 계획 및 설계에 있어서 발생하는 제반 문제는 공간적(spatial) 측면과 시간적(temporal) 측면을 지니고 있다. 공간적 혹은 지리적 문제는 공장, 창고, 그리고 유통시설과 같은 설비들의 입지를 결정하는 것이다. 설비의 수, 크기, 그리고 위치는 각 지역에서 요구되는 대 고객 서비스 수준과 생산/구매 비용, 재고 유지비용, 설비 비용(보관, 이송, 그리고 고정비용), 운송비용 등을 종합적으로 고려하여 결정된다.

물류망 계획에 있어서 시간적인 문제는 소비자가 요구하는 서비스 수준을 충족시키는 것인데 이것은 곧 소비자가 원하는 제품을 제때 구입할 수 있도록 제품 보유 수준을 유지하는 것이다. 소비자

가 요구하는 서비스 수준을 달성하면서 자본비, 주문처리 비용, 운송비용 등의 물류비용을 최소화하는 것이 물류망 설계의 핵심이며, 물류의 효율은 물류망의 형태에 의하여 결정된다. 물류의 시간적인 측면에 관한 의사 결정 역시 공간적인 측면과 밀접하게 관련되기 때문에 설비의 입지 결정에 영향을 미친다.

이처럼 물류체계의 각 요소들은 상호 의존적이기 때문에 물류시스템을 부분적으로 고찰하기보다는 전체적으로 고찰할 필요가 있다. 이러한 관점에서 물류망을 계획할 때 기본이 되는 것은 총비용 개념이다. 즉, 물류시스템의 설계와 범위의 중심은 비용 트레이드 오프 분석이며, 이는 총비용 개념으로 귀착된다. 비용 트레이드 오프는 기업의 다양한 활동과 관련된 비용이 서로 상충되는 특성을 나타낸다는 것에 근거한다. 이러한 비용 상충은 관련 활동들을 균형을 이루도록 조정함으로써 전체적으로 활동을 최적화한다.

3. 연구방법론

3.1 총물류비용 모형

총물류비용식을 유도하기 위해서 한 기점에서 하나의 종점까지의 링크를 고려하고, 기점은 한가지 제품을 생산한다고 가정한다. 또한 종점은 일정한 비율로 제품을 소비하고, 기점은 일정한 같은 비율로 생산을 하며, 단지 하나의 운송수단만이 이용된다고(예, 트럭이나 철도) 가정한다.

여기서 고려되는 비용들은 기점에서 선적될 때 까지 보관되는 제품의 재고비용, 운송비용과 운송 중인 제품에 의해 발생하는 재고비용, 그리고 소비지에서 최종 소비시점까지 보관되는 제품의 재고비용이다.

이러한 비용 요소간의 상호 관계는 재고비용과 운송비용의 트레이드 오프를 통하여 파악할 수 있으며, 이것은 운송되는 단위화물의 크기(shipment size), 즉 운송규모(V)에 의해 크게 좌우된다.

제품 한 단위를 생산하는데서 소비되기까지 소요되는 평균총시간 τ 과 제품당 평균재고비용 CI 는 식(1)과 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

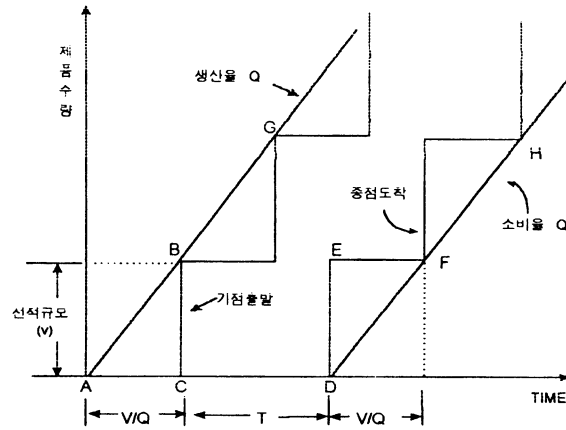
$$\tau = \frac{V}{Q} + T \quad (1)$$

$$C_l = PR \left(\frac{V}{Q} + T \right) \quad (2)$$

여기서, P = 제품가치 Q = 제품수요 R = 재고유지비용

T = 운송시간 V = 운송규모

τ 에 대한 식(1)은 <그림 3-1>의 누적생산·소비곡선으로부터 알 수 있다. 선 **ABG**는 누적생산 관계를 나타내고 선 **DFH**는 누적소비 관계를 나타낸다. 각 시간대에 1회 운송에 대하여 충분한 제품들이 생산되고, 이것들은 종점으로 운송된다. 선 **ABG**의 바로 오른쪽 계단형태는 기점으로부터의



<그림 3-1> 누적생산·소비곡선

화물의 출발을 나타내며, 선 DFH의 바로 왼쪽계단은 중점에서의 화물도착을 의미한다. 계단모양 사이의 수평거리는 운송시간 T를 나타낸다. 평균총시간 t 는 선 ABG와 DFH간의 수평거리로 나타난다. 어떤 시간에 있어서 총재고 I는 그림의 선 ABG와 DFH간의 수직거리로 나타난다. 따라서, 식 (1)로부터 다음 관계가 도출된다.

$$I = Q \tau = V + QT \quad (3)$$

재고는 평균적으로 선적되기위해 기점에서 보관되는 화물의 절반($V/2$), 소비지인 중점에서 보관되는 화물의 절반($V/2$), 그리고 운송중의 QT 로 이루어진다.

제품당 운송비용은 선적 화물의 중량이나 크기와 독립적이며 선적당 고정화물운임(F)으로 가정한다. 트럭운송에 있어 F 는 대략 차급화물(truck-load) 일반운송업자나 계약운송업자의 요율로 간주될 수 있다.

제품당 단위 운송비용 CT 는 다음과 같다.

$$C_T = F/V \quad (4)$$

제품당 총비용 C 는 다음과 같이 제품당 운송비용과 재고비용의 합이다.

$$C = C_I + C_T \quad (5) \quad = PR \left(\frac{V}{Q} T \right) + \frac{F}{V} \quad (6)$$

여기서, C , C_I , 그리고 C_T 의 관계를 통하여 선적규모가 커짐에 따라 수송비는 감소되지만 재고유지비용은 증가한다는 것을 알 수 있다. 따라서 총물류비는 최적의 선적량(V^*)일 때 최소값(C^*)을 갖는다. 최적선적량 V^* 는 그래프를 통하여 도출되거나 또는 총물류비용식을 V 에 대해 미분을 하여 구할 수 있다. 편의상 V 를 Z 라 하면 다음 관계가 성립한다.

$$C(Z) = -FZ^{-2} + \frac{PR}{2Q} \quad (7)$$

$$Z^2 = \frac{FQ}{PR} \quad (8)$$

$$\therefore Z = \sqrt{\frac{FQ}{PR}} \quad (9)$$

이때 최적 선적규모 $V^* = \min(Z, W)$ (10)

여기서, $Z = \sqrt{\frac{FQ}{PR}}$ 그리고, $W =$ 차량용량이다.

식(10)은 기점과 종점에서의 재고를 설명하는 표준적인 EOQ문제의 해법이다. 제품당 최소비용 결과치 C^* 는 V^* 를 총물류비용식에 대입하여 도출해 낸다.

$$C^* = \begin{cases} 2\sqrt{\frac{PRF}{Q}} + PRT & \text{만약 } Z \leq W \\ \frac{F}{W} + \frac{PRW}{Q} + PRT & \text{만약 } Z > W \end{cases} \quad (11)$$

3.2 혼재 터미널을 경유하는 운송

터미널은 창고 혹은 혼재시설이 될 수 있다. 각 기점에서 생산된 제품들은 다양한 종점(목적지)을 가지며, 이들은 혼재 터미널에 모여져서 각 목적지별로 하나의 선적단위(load)로 혼재된다. 터미널을 경유하여 운송할 때 제품의 혼재로 인하여 얻을 수 있는 규모의 경제 효과를 누릴 수 있다. 그러나 이러한 경제적 이점은 터미널에서의 재고와 하역비용 그리고 노선순회(routing circuit)로 인하여 발생하는 추가 비용 등의 단점과 상쇄된다.

혼재터미널에서의 인바운드와 아웃바운드 운송은 독립적이라고 가정된다. 이러한 가정하에 직접 운송에서와 마찬가지로 각 링크에 대해 최적선적규모가 결정될 수 있다.

터미널과 관련된 비용들은 인바운드와 아웃바운드 운송, 그리고 하역에 소요되는 시간 등으로 인해 발생하는 재고비용들인데, 특정 기종점쌍에 있어서의 운송비용은 터미널로 반입되고 반출되는 화물의 크기와 혼재 규모에 달려있다. 운송에 소요되는 시간은 기점과 터미널간의 운송 시간 T_1 , 터미널 내에서 하역 등으로 소요되는 시간 T_c , 그리고 터미널과 종점간의 운송시간 T_2 로 이루어진다. 따라서 각 제품이 생산지에서 소비지까지 인도되는데 소요되는 평균총시간 τ 는 식(12)와 같이 나타난다.

$$\tau = \left(\frac{V_1}{Q_1} + T_1\right) + T_c + \left(\frac{V_2}{Q_2} + T_2\right) \quad (12)$$

여기서,

$V_1 =$ 기점과 터미널 링크상의 혼재선적규모 $V_2 =$ 터미널과 종점 링크상의 혼재선적규모

$T_c =$ 터미널에서의 평균 하역소요 시간

$Q_1 =$ 기점과 터미널 링크상의 수요량

$Q_2 =$ 터미널과 종점 링크상의 수요량

$T_1 =$ 기점과 터미널 링크상의 운송시간

$T_2 =$ 터미널과 종점 링크상의 운송시간

$F_1 =$ 기점과 터미널 링크상의 운송비용

$F_2 =$ 터미널과 종점 링크상의 운송비용

이 기종점쌍에 대해 발생하는 제품당 해당 평균재고비용 C_I 는 다음과 같다.

$$C_l = PR \left(\frac{V_1}{Q_1} + T_1 + T_c + \frac{V_2}{Q_2} + T_2 \right) \quad (13)$$

특정 기종점쌍에 대한 제품당 총비용 C 는 다음과 같다.

$$C = \left[PR \left(\frac{V_1}{Q_1} + T_1 \right) + \frac{F_1}{V_1} \right] + PRT_c \left[PR \left(\frac{V_2}{Q_2} + T_2 \right) + \frac{F_2}{V_2} \right] \quad (14)$$

전체 네트워크에 대한 총비용은 각 기종점쌍에 대한 비용의 합이다. 식(14)의 항들은 각각 기점과 터미널 링크와 관련된 비용, 터미널에서의 하역작업 시간과 관련된 비용, 그리고 터미널과 종점 링크와 관련된 비용을 나타낸다. 첫 번째와 세 번째항은 식(6)의 직접운송에서의 단일링크에 대한 비용과 같다.

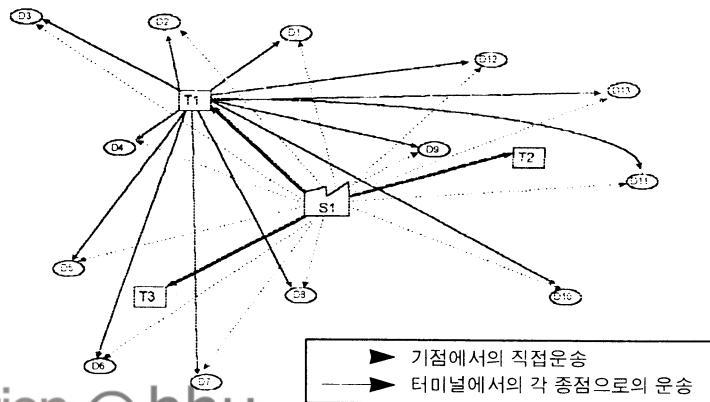
4. 모형의 적용 및 분석

4.1 네트워크 구성

앞 장에서 도출한 비용식을 적용하기 위해서 <그림 4-1>과 같이 단일 생산시설과 3개의 터미널, 그리고 13개의 종점(수요지)을 포함하는 물류 네트워크를 가정한다.

M 개의 기점과 N 개의 종점을 포함하는 네트워크에 있어서 터미널로의 인바운드 링크상에 각 선적규모결합에 대해 고려해야 할 가지수는 $2^M \times N$ 개이며, S 개의 선적규모 결함에 대해서는 S^M 결합이 가능하기 때문에 총전략의 수는 $(2S)^M \times N$ 개이다. 따라서 일반적인 네트워크 분석에 있어서 컴퓨터를 이용하여 계산할 수 있을 정도의 전략수로 대안을 줄이기 위해서는 특별한 기법이 요구된다. 본고에서는 독립적인 하부 네트워크로 분해하기 위해 경유수송모형을 적용한다.

총물류비용을 계산하기 위한 변수로서 선적당 운송요율(원/선적)은 선적단위당 고정되어 있으며, 거리를 기준으로 하여 선형비례운임을 적용하여 도출하였다. 시간단위로 표현되는 운송시간 T 는



<그림 4-1> 대상 네트워크

화물이 운송되는 평균시간을 의미하며 1년단위를 기준으로 거리에 선형으로 비례하도록 가정하였고 단위는 일/년으로 적용한다. 수요량은 lbs, CWT, cases, pallets, gallons 혹은 단순히 제품수량등이 될 수 있으며, 기준시간 범위 동안의 기점에서 종점까지의 화물의 흐름을 나타낸다. 제품의 재고 유지비용은 %/년으로 표현되며 수송차량의 용량은 화물단위나 제품의 수량이 될 수 있다.

실제 상황에서 운송운임은 중량별, 거리별 할인요율이 적용될 수 있으며 이것은 모형에 쉽게 수정·적용될 수 있다. 또한 운송시간 역시 항상 일정한 것만은 아니다. 그러므로 식(3)에서의 변수 T 는 평균운송시간으로 간주될 수 있다. 특정 운송수단을 이용함에 있어서, 화주는 운송시간이 평균시간 이상이 될 경우를 대비하여 안전재고를 보유하려고 할 수 있다. 도착지연에 대비하기 위해 종점에서 보유되는 안전재고의 보유시간이 \bar{T} 라고 하면, 식(3)은 안전재고의 재고유지비용을 보상하기 위해 $Q\bar{T}$ 를 추가하여 수정되어질 수 있으며 식(3)에서의 변수 T 는 평균운송시간과 안전재고 보유시간의 합으로 다시 해석될 수 있다.

4.2 존 분할을 위한 경유수송모형의 적용

전체 네트워크를 몇 개의 하부 네트워크로 분해하기 위해서 선형계획법을 이용하며 이 문제를 정식화하면 다음과 같다.

X_{ij} 는 마디 i 에서 j 로의 수송량이라 정의하면 총 공급량은 $X_{12} + X_{13} + X_{14} = 62000$ 이며 터미널에서의 인바운드와 아웃바운드 양은 같아야 하므로

$$X_{12} + X_{13} + X_{14} = X_{25} + X_{26} + X_{27} + \dots + X_{416} + X_{417}$$

수요마디에서의 수요량에 맞추어

마디 5 ; $X_{25} + X_{35} + X_{45} = 2000$

마디 7 ; $X_{27} + X_{37} + X_{47} = 8500$

마디 9 ; $X_{29} + X_{39} + X_{49} = 6500$

마디 11 ; $X_{211} + X_{311} + X_{411} = 3000$

마디 13 ; $X_{213} + X_{313} + X_{413} = 2000$

마디 15 ; $X_{215} + X_{315} + X_{415} = 3000$

마디 6 ; $X_{26} + X_{36} + X_{46} = 5000$

마디 8 ; $X_{28} + X_{38} + X_{48} = 6000$

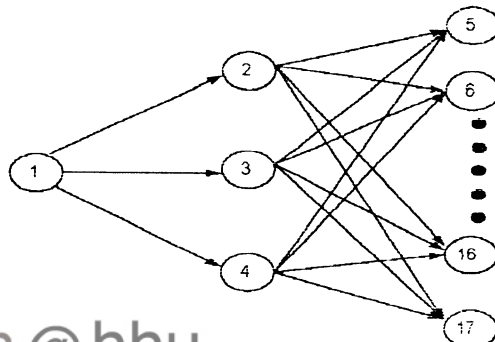
마디 10 ; $X_{210} + X_{310} + X_{410} = 2000$

마디 12 ; $X_{212} + X_{312} + X_{412} = 4000$

마디 14 ; $X_{214} + X_{314} + X_{414} = 7500$

마디 16 ; $X_{216} + X_{316} + X_{416} = 4000$

마디 17 ; $X_{217} + X_{317} + X_{417} = 8500$ 이 된다.



따라서 선형계획 모형은

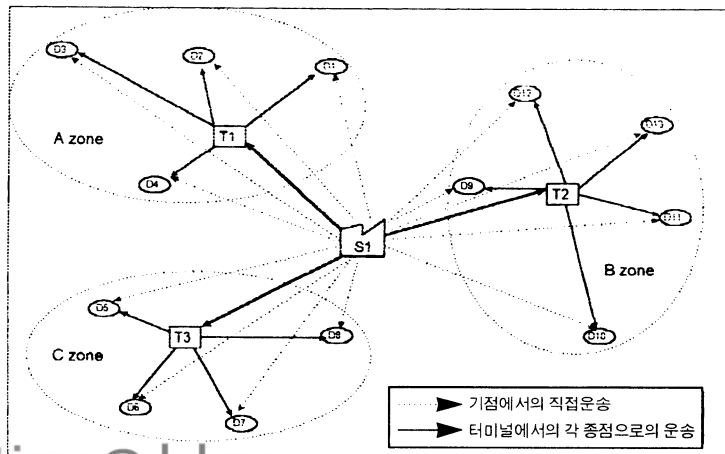
min

$$350 X_{12} + 330 X_{13} + 310 X_{14} + 650 X_{25} + 470 X_{26} + \dots + 680 X_{217} \\ + 720 X_{35} + 1030 X_{36} + \dots + 250 X_{317} + 1160 X_{45} + 1220 X_{46} + \dots + 900 X_{417}$$

S.T

$$\begin{aligned} X_{12} + X_{13} + X_{14} &= 62000 \\ -X_{12} \quad \quad \quad + X_{25} + X_{26} + \dots + X_{217} &= 0 \\ -X_{13} \quad \quad \quad + X_{35} + X_{36} + \dots + X_{317} &= 0 \\ \quad \quad \quad -X_{14} + X_{45} + X_{46} + \dots + X_{417} &= 0 \\ \\ X_{25} + X_{35} + X_{45} &= 2000 \\ X_{26} + X_{36} + X_{46} &= 5000 \\ X_{27} + X_{37} + X_{47} &= 8500 \\ X_{28} + X_{38} + X_{48} &= 6000 \\ X_{29} + X_{39} + X_{49} &= 6500 \\ X_{210} + X_{310} + X_{410} &= 2000 \\ X_{211} + X_{311} + X_{411} &= 3000 \\ X_{212} + X_{312} + X_{412} &= 4000 \\ X_{213} + X_{313} + X_{413} &= 2000 \\ X_{214} + X_{314} + X_{514} &= 7500 \\ X_{215} + X_{315} + X_{415} &= 3000 \\ X_{216} + X_{316} + X_{416} &= 4000 \\ X_{217} + X_{317} + X_{417} &= 8500 \end{aligned}$$

$X_{ij} \geq 0$ for all i and j



< 그림 4-3 > 경유수송문제의 결과치에 따른 하부 네트워크 분해

위와 같이 경우 수송 모형을 이용하여 해를 풀었을 때 <표 4-2>와 <그림 4-3>과 같은 결과가 도출되어 전체 네트워크에 대하여 터미널을 중심으로 하는 3개의 하부 네트워크 존으로 분해할 수 있게 된다.

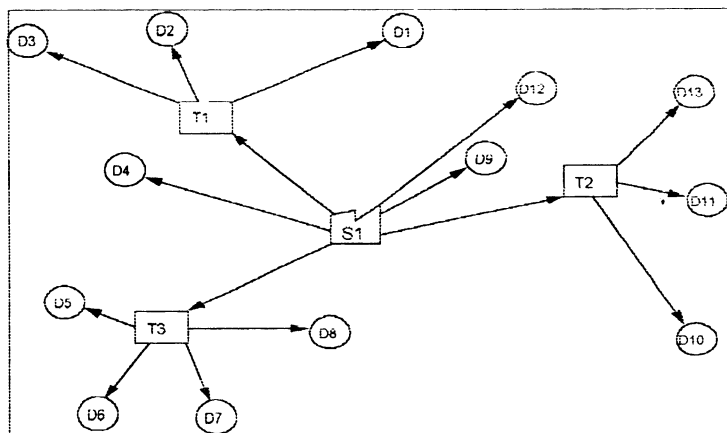
4.3 최적 네트워크 구축

앞 절에서 분해된 하부 네트워크 별로 최적 네트워크를 구축하였다. 각 기점에서 종점으로 직접 운송하는 경우와 터미널을 경유하는 경우를 고려하였으며, <표 4-3>과 <그림 4-4>는 각각 대상 네트워크의 각 하부 네트워크에 대한 최적전략에 대한 값과 도식을 보여주고 있다.

<표 4-3> 각 네트워크의 비용분석

입 지 비용항목	A 네트워크	B 네트워크	C 네트워크	계
최 적 총 불류 비	44973.94	49624.76	32060.12	126658.82
모 두 직 송 시 비 용	46139.26	50858.32	36671.09	133668.67
모 두 환 송 시 비 용	46002.59	53869.98	32060.12	131932.69

터미널 T1을 중심으로 한 A존에서는 직송이 1개, 환송이 3개가 도출되었고, 이때 최적전략은 D1-D2-D3을 환송하고 D4를 직송하는 것이다. 모든 종점에 대해 직송을 했을 때의 네트워크 전체에 대한 총비용은 46139.26이며, 적절히 환송을 결합한 최적 전략의 총비용은 모두 직송시에 대하여 1165.32만큼의 비용절감 효과를 가져온다. 또한 모든 종점에 대해 환송을 했을 때의 총비용은 46002.59이며, 이 값은 최적 전략과 비교하였을 때 3%정도의 비용 역효과를 가져오게 된다. 모든 하부 네트워크들을 포함하는 전체 네트워크에 있어서는 모두 직송시의 경우보다 5%의 비용감소를 발생시킬 수 있으며, 모두 환송시의 비용보다는 4%의 효과를 가져온다.



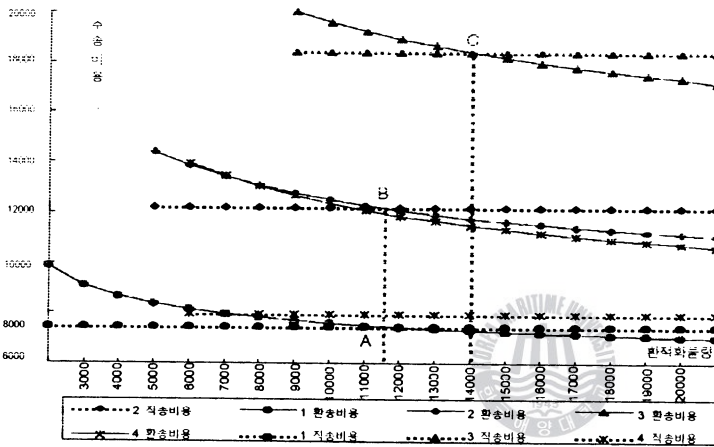
터미널 T2를 중심으로 한 B 존에서는 D10, D11, D12를 환송하고 D9와 D12에 대해서는 직송을 수행할 때 최소비용이 발생한다. 터미널 T3을 중심으로 한 C존에서는 모든 종점 D5, D6, D7, D8에 대해 환송을 할 때 최소비용이 발생한다. 결국, 전체 네트워크 설계에 있어 직송과 환송의 비용 효과적인 적절한 조합이 최적임을 보여주고 있다.

<그림 4-4> 최적 네트워크 전략

4.4 총물류비용의 민감도

최적 노선결정을 위해 각 종점에 대해 직송과 환송을 비교해 보면, 기점에서 종점 D_n 으로의 직송 비용은 유통량 Q_{D_n} 에 달려있다. 그러나 터미널을 경유하는 환송의 경우, 환송비용은 기점과 터미널 간의 총유통량 \bar{Q} 에 달려있다.

이때, \bar{Q} = 기점에서 터미널로의 총유통량



<그림 4-5> 개별 종점에 대한 환적화물량의 변화에 따른 수송비용의 변화곡선

종점 1에 대한 직송비용은 7497이며, 환송비용은 \bar{Q} 가 2000일 때 9892로 직송비용과 많은 차이를 보이고 있다. 종점1에 대한 적정(직송비용 = 환송비용)환적화물량은 11580이다. 환적화물량 Q 가 11560이상인 A지점에서 적정을 이루며, 11560 이상의 \bar{Q} 의 값을 가질 때, 환송비용은 직송비용보다 유리하게 작용한다.

종점2, 3에 대한 변화량은 각각 B지점(11450), C지점(14000) 지점부터 직송비용보다 환송비용이 더 유리해지기 시작한다. 끝으로, 종점4에 대한 분석은 직송비용이 7972이고 환송비용이 직송비용보다 효과적이지 못하며, 만약 환송이 유리하기 위해서는 이 종점의 수요량이 25650이상인 되어야 한다. T_1 를 경유하여 운송되는 종점1, 2, 3, 4의 화물량은 21500이고, T_1 를 통과할 수 있는 환적화물량이 15500이므로 환송이 가능하다. 네트워크에 대한 최적전략은 종점 1, 2, 4에 대해서는 터미널을 경유하여 운송하고, 종점3는 직송을 하는 것이다.

<그림 4-5>에서 알 수 있듯이 총수송비용은 적정 수요량 이상일 때 직송보다는 환송시에 비용 면에서 보다 유리하다. 그러나 이때 터미널을 통과하는 환적화물량이 종점의 총수요량 이하여야 한다. 기점과 터미널 노선 상에 유통량이 증가함에 따라 점차 환송비용이 직송비용보다 비용 효과적이 되며, 두 비용이 같아지는 경계점을 지나면 환송이 보다 유리해진다. 이 경계점은 종점에 대해 직송비용과 환송비용이 같을 때이다. 여기서, 경계점은 최적 환송물량을 알아 봄으로써 보다 명백해진다 (식 17).

터미널을 경유하는 환송비용은 터미널과 기점노선상의 \bar{Q} 가 증가함에 따라 <그림 4-5>에서와 같이 감소한다. <그림 4-5>에서는 앞장에서 분석한 A존의 하부네트워크에 있어서 각 종점에 대해 직송과 환송의 총유통량에 따른 비용변화를 도식한 것이다. 각 종점 1, 2, 3, 4에 대한 각각의 환적화물량 \bar{Q} 의 변화량을 나타내는 곡선으로 먼저, 종점 1에 대한 직송비용은 7497이

환송비용이 최소가 되는 것은 트럭이 만재로 적재될 때(최적선적규모와 차량용량인 W 가 같을 때) 발생한다. 그러므로 직송비용이 터미널을 경유하여 운송하는 비용중의 최소치보다 적을 때 직접노선이 항상 선호되어진다. 터미널 경유운송은 (식 15)과 같을 때 선호되어진다.

개별종점에 있어서 주어진 운송시간, 운임하에서의 환송시의 수요량 조건은 종점의 수요량에 좌우되며, 직접 운송과 비교하여 환송의 유리한 부분은 임의의 터미널이 어떤 종점 조합으로 운송하느냐에 따라 기점과 터미널간의 혼재효과가 변하기 때문에 총비용은 달라진다. 종점의 수요량은 선적규모를 좌우하기 때문에 개별 종점이 환송을 하기 위한 적정환송량의 조건은 (식 17)으로 표현되어진다.

$$\begin{aligned}
 & \left[PR \left[\sqrt{\frac{F_2 \bar{Q}}{PR}} / \bar{Q} + T_2 \right] + F_2 / \sqrt{\frac{F_2 \bar{Q}}{PR}} \right] + [PRT_c] \\
 & + \left[PR \left(\sqrt{\frac{F_3 Q}{PR}} / Q + T_3 \right) + F_3 / \sqrt{\frac{F_3 Q}{PR}} \right] \\
 & = PR \left(\sqrt{\frac{F_1 Q}{PR}} / Q + T_1 \right) + F_1 / \sqrt{\frac{F_1 Q}{PR}} \quad (15)
 \end{aligned}$$

여기서

- F_1 : 직접운송의 선적당 운송요금 F_2 : 환송시의 기점에서 터미널간의 운송요금
 F_3 : 환송시의 터미널에서 종점간의 운송요금 T_1 : 직접운송의 운송소요시간
 T_2 : 환송시의 기점에서 터미널간의 운송시간 T_3 : 환송시의 터미널에서 종점간의 운송시간
 Q : 개별종점의 수요량 \bar{Q} : 환적가능한 최소 수요량

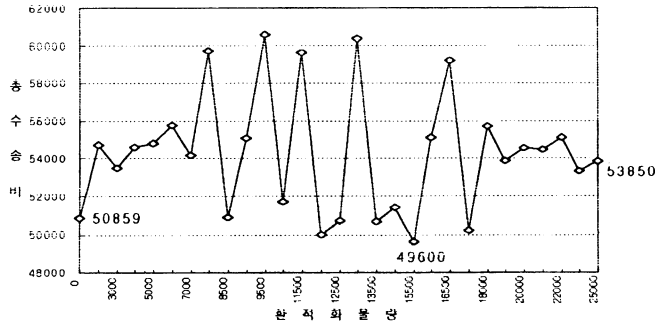
$$\frac{2\sqrt{PRF_1}}{\sqrt{Q}} - \frac{2\sqrt{PRF_3}}{\sqrt{Q}} = \frac{2\sqrt{PRF_2}}{\sqrt{Q}} + PR(T_c + T_3 + T_2 - T_1) \quad (16)$$

$$\frac{1}{\sqrt{Q}} = \frac{1}{\sqrt{PRK_2}} \frac{(\sqrt{PRF_1} - \sqrt{PRF_3})}{\sqrt{Q}} - 2PR(T_c + T_3 + T_2 - T_1) \quad (17)$$

결국 $\frac{1}{\sqrt{Q}}$ 가 우항과 같은 조건에서 환송이 발생되며, 이러한 환송의 발생은 비용면에서도 직송

보다 환송비용이 유리하게 나타난다. 터미널로의 인바운드 링크상에 있어서 단위선적당 총비용은 수요량 Q 가 만재를 야기시키는 수준까지 규모의 경제를 나타내게 되며 혼재효과가 충분히 도달되었다면 더 이상 환송은 총비용을 민감하게 변화시키지 않게 된다. 선적규모가 충분히 큰 상태로 고정되었을 때 임의의 종점에 대하여 환송비용의 변화를 평가함에 있어 위 식은 어느정도의 안목을 제시해 주게 될 것이다.

앞서 분석한 <그림 4-5>은 개별종점에 대한 수송비용과 환적량과의 관계를 설명하였다. <그림 4-6>은 총수송비용과 환적량에 대해 존A에 관해 분석한 도식이다. 위의 도식에서 위쪽에 위치한 지점(5개)은 종점4로의 운송을 포함하고 있어 총비용이 높아지고 있다. 종점4에 대한 자세한 분석(<그림 4-5> 참조). 존A=15500인 지점 즉 종점1, 2, 3의 수요량의 합은 15500일 때 총비용면

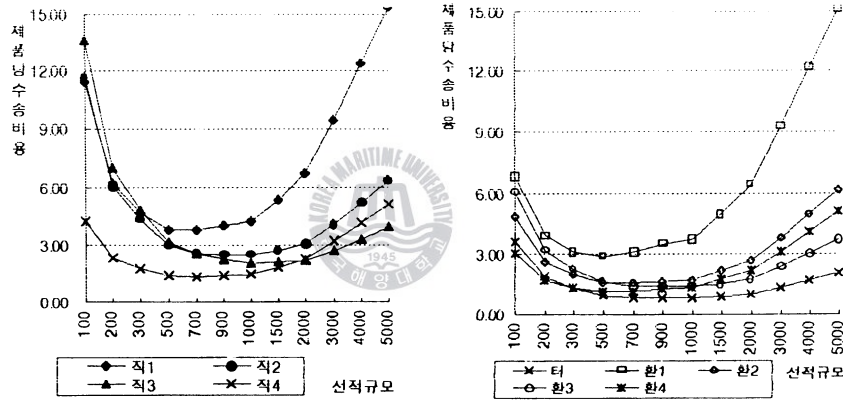


<그림 4-6> 총수송비용과 한정물량에 대한 분석

에서 유리하다.

이것은 제품당 수송비용의 선적규모에 따른 변화를 보여주는 <그림 4-7>를 통해 보다 명백하게 알 수 있다.

<그림 4-7>은 존A에 대한 제품당 수송비용과 선적규모와의 관계를 분석한 것이다. T_1 를 통과하는 종점 1, 2, 3, 4에 대한 분석으로, 기점에서 터미널로의 선적규모가 950일 때 제



<그림 4-7> 제품당 수송비용과 선적규모와의 관계

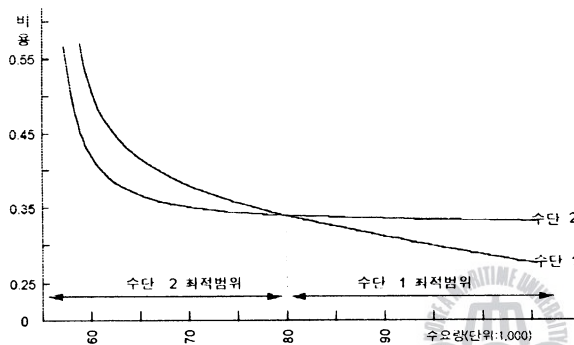
품당수송비가 0.77로 최소가 됨을 알 수 있다. 본 연구에서 선적규모의 분석은 존A에 대한서의 종점 1, 2, 3, 4,의 직송운송과 터미널에서 종점으로의 운송인 총 9가지의 운송에 대해 선적규모와 수송비용과의 관계를 고찰하였다. 전체적으로 선적규모는 적정선적규모를 기준으로 하여 감소하다가 증가되는 오목비용함수곡선을 유지하게 된다. 각 노선에 대해 적정선적규모일 때 제품당 최소비용을 유지하며, Q에 따른 적정선적규모의 유지는 총비용면에도 민감하게 영향을 미치고 있다.

4.5 수단선택

수송서비스가 경쟁적인 목적으로 이용되는 특별한 경우를 제외하고 수송수단이나 서비스를 선택하는 것은 각 수단을 이용할 때의 간접 재고비용과 수송비용을 서로 절충하여 이루어진다. 이것은 수송수단의 속도와 신뢰성이 화주와 구매인 사이에 운송중인 재고량 뿐만 아니라 화주와 구매자의 재고수준에 영향을 미치기 때문이다. 다양한 수단의 비용특성은 크게 차량용량, 수송시간, 수송운임 등으로 특징지어지며, 이러한 특성들은 앞서 제시한 모형에 반영되어 물류 네트워크에서의 수단선택 분석을 가능케 한다. 결국 수단간의 경쟁력은 수송 및 재고비용을 반영하고 있는 총비용의 지표

<표 4-4> 두가지 수송수단의 비용특성

구 분	수단1	수단2
운 임 F (원/선적)	300	150
차량용량 W (제품단위)	2000	700
운송시간 T (일/년)	0.00548	0.01106
재고유지비용 R (%/년)	0.2	
제품가치 P (원)	30	



<그림 4-8> 수요량의 변화에 따른 비용의 변화

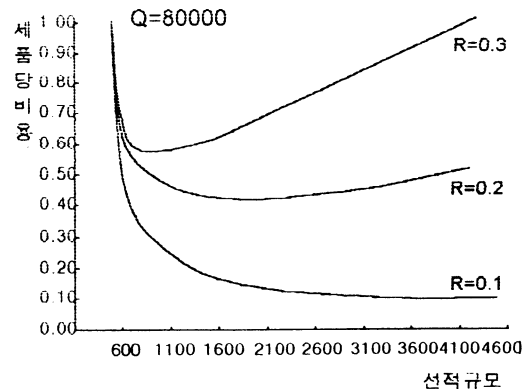
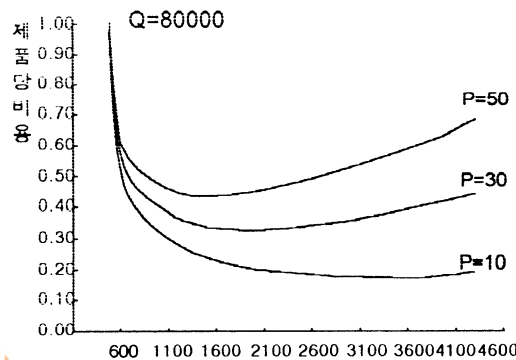
용효과적인 수단임을 알 수 있다. <그림 4-5>에서 알 수 있듯이, 단일노선상에 있어서 총유통량 Q 의 증가는 선적규모를 증가시키고 결과적으로 제품단위당 비용은 감소하게 된다. 최적선적규모가 차량용량에 도달하게 되면 제품 단위당 비용은 총유통량 Q 에 대하여 둔감해지기 시작하며 이것은 차량용량이 작은 수단에 비해 큰 수단의 비용효과적인 수요량범위가 길어짐을 의미한다.

운임측면에서 볼 때, 화물운임이 낮아질수록 최적선적규모는 적어진다. 마찬가지로 제품가치와 제품의 재고유지비용이 커질수록 총비용은 선적규모에 보다 민감해진다. <그림 4-9>는 제품가

를 통해 결정된다.

단일노선상에 있어서 두가지의 수송 수단을 가정한다. <표 4-4>에서와 같이 수단1은 노선상의 운송운임이 비싸지만 차량용량이 크고 운송시간이 짧은 특성을 가진다. 반면에 수단2는 운임이 싸고 차량용량이 수단1에 비해 상대적으로 작고 운송시간이 긴 특성을 가지고 있다.

두 수단간의 총물류비를 비교하기 위해 전술한 모형에 <표 4-2>의 비용 특성을 적용하였을 때 <그림 4-8>에서와 같이 수단1과 수단2에 대해 수요량의 변화에 대한 비용이 산출된다. 수요량이 80000이하인 경우에 있어서는 수단2가 최적 수송수단이고 그 이상의 수요량에 대해서는 수단1이 보다 비



<그림 4-9> 제품가치와 재고비용에 따른 제품단위당 비용의 민감도

치와 재고유지비용의 선적규모에 따른 제품단위당 비용의 변화를 보여주고 있다. 이는 고가의 제품 이면서 재고 유지비용이 큰 제품일수록 최적선적규모로 운송하는 것이 중요하다는 것을 보여준다.

전술한 내용을 종합해 보았을 때, 네트워크상의 최적수송수단은 총비용에 영향을 미치는 다양한 비용항목들의 조합에 따라 바뀌게 된다.

네트워크상의 수단선택분석에 있어서도 위와 같은 방법으로 확장되어질 수 있다. 앞장의 민감도 분석에서 제시된 것처럼 각 종점에 대해 환송과 직송을 추가하여 각 수단에 대해 총물류비가 도출되어 질 것이며, 나아가 수단간의 총물류비를 비교함으로써 최적수단이 선택되어질 수 있는 것이다.

4.6 입지선정

이 모형은 입지선정에 있어서도 부분적인 식견을 제시해 줄 수 있다. 재고와 수송비용을 고려하여 기존의 수요지를 중심으로 하여 생산시설을 건설하기 위한 입지분석이나, 기존의 네트워크에 새로운 터미널 추가의 효용성 혹은 위치 등의 결정에 있어서 이 모형은 총비용을 최소화하는 결과치를 탐색적으로 도출해 낼 수 있게 한다.

임의의 수요지점들을 공급하기 위한 새로운 터미널의 입지 대안이 $T_1, T_2, \dots, T_{n-1}, T_n$ 이고, 기점 S 에서 출발하여 n 개의 터미널 대안에 대해 총 m 개의 종점으로서의 운송에 대하여, 각 터미널과 종점으로서의 운송비용과 운송시간과 비용에 따른 입지별 물류비용분석을 통해 입지대안들의 총물류비를 최소로 하는 입지를 선정하게 될 것이다. 아울러 이 모형은 두 개 혹은 그 이상의 하부 네트워크 사이에 위치하게 되는 새로운 수요지에 대한 네트워크 분석에도 적용되어질 수 있을 것이다.

5. 결 론

본고에서는 수송과 재고간의 트레이드 오프를 분석하기 위한 총물류비용 모형을 도출하고 모형을 주어진 상황에 적용하여 최적 네트워크를 구축하였다. 또한 비용요소들의 민감도를 분석하였으며, 본 모형이 수송수단 선택에 어떻게 적용될 수 있는가를 제시하고 입지선정 문제로까지 적용을 시도하였다. 제시된 모형은 표준 EOQ모형을 확장한 것으로서 입지선정, 수송결정, 그리고 재고의 사결정간에 존재하는 비용 트레이드 오프를 반영하여 이들 문제를 통합적으로 분석할 수 있는 틀을 제공하고자 하였다. 또한 복수의 수단, 다양한 선적규모 및 수요량 등을 고려해야 하는 복잡한 네트워크 문제를 경유 수송모형을 통해 하부 네트워크들로 분해함으로써 분석을 용이하게 하였다.

적용 측면에 있어서는 특정 경로상에 주어진 화물량을 바탕으로 기종점쌍에 대한 비용의 변화와 최적선적규모를 분석함으로써 최적 노선 및 수송형태를 결정하는데 필요한 식견을 제공하였다. 또한 수요량, 제품가격, 재고비용 등에 따른 제품단위당 수송비용의 민감도를 분석하여 제시함으로써 본 접근법이 물류관리자가 수송수단을 선택하는데 도움이 될 수 있음을 밝혔다. 마지막으로 제시된 모형을 입지선정 문제에 적용하여 총물류비용을 최소화하는 터미널 입지대안들을 도출하였다.

그러나 본고는 실제 문제를 해결하는 실증연구보다는 문제 해결의 틀을 제공하는 이론적인 연구

에 초점을 맞춘 관계로 실제 물류 상황을 제대로 반영하지 못한 점이 있다. 최적 수배송수단을 선택하기 위해서는 수배송거리, 화물의 종류, 수송수단의 운송시간, 운임, 수송수단의 변경에 따른 장단점 등이 동시에 검토·평가되어야 한다. 터미널 및 생산시설 등의 입지분석에 있어서 본 모형은 수송 및 재고 비용을 기준으로 하며, 입지선정의 핵심은 최적 비용으로 고객 서비스를 만족시키는 네트워크를 구축하는 것임을 고려할 때 비용요소들을 고려한 본 접근법은 타당하다고 할 수 있다. 그러나 입지선정은 비용최소화 외에 다양한 요인들을 고려하여 이루어지나 본 모형은 비용외의 다른 요소들을 다 고려하지 못하는 한계가 있다. 따라서 좀더 현실적인 결과를 얻기 위해서는 이러한 한계점들이 극복될 필요가 있다.

전술한 내용들을 종합할 때 본고에서 제시한 모형은 총 물류비용 최소화에 근거하는 모형의 특성상 전략적이고 거시적인 물류망 분석에 적합하며, 보다 세부적인 물류망 분석에 이용되기 위해서는 전술한 한계점들이 보완되어야 하는 것으로 결론을 맺을 수 있겠다.

참 고 문 헌

- 1) Andre Langvin, Pontien Mbaraga and James F. Campbell (1996), "Continuous approximation Models in freight Distribution :An overview", *Transpn. Res. - B*, Vol. 30, No. 3, pp. 163 - 188.
- 2) Blumenfeld, D. E, Burns, L. D and Daganzo, C. F (1991), "Synchronizing production and transportation schedules", *Transpn Res. B* 25B, pp. 23 - 37
- 3) Blumenfeld, D. E., Burns, L. D, and David Diltz, J. (1985), "Analyzing Trade - offs Between Inventory and Production Cost on Freight Networks", *Transportation Research*, Vol. 19B, No. 5, pp. 361 - 380.
- 4) Burns, L. D, Hall R. W Blumenfeld, D. E and Danganzo, C. F (1985), "Distribution strategies that minimize transportation and inventory costs", *Oper. Res.* 33, pp. 469 - 490.
- 5) Baumol, W. J. and Vinod, H. D. (1970), "An Inventory Theoretic Model of Freight Transport Demand", *Management Science*, Vol. 16, No. 7, pp. 413 - 421.
- 6) Constable, G. K. and Whybark, D. C. (1978), "The Interaction of Transportation and Inventory Decision", *Decision Sciences*, Vol. 9, pp. 688 - 699.
- 7) Cunningham, W. J. (1982), "Freight Modal Choice and Competition in Transportation: A Critique and Categorization of Analysis Techniques", *Transportation Journal*, Vol. 21, No. 4, pp. 66 - 75.
- 8) Campbell, J. F (1990), "Designing logistics systems by analysing transportation, inventory and terminal cost trade - offs", *J. Bus. Logist H*, pp. 159 - 179.
- 9) Daganzo, C. F and Newell, G. F (1986), "Configuration of physical distribution networks", *Network* 16, pp. 113 - 132.
- 10) Garnett, H. C, "A computer simulation model to facilitate the comparison of different transport/distribution system."
- 11) Larson, P. D. (1988), "The Economic Transportation Quantity", *Transportation Journal*, Vol. 28, No. 2, pp. 43 - 48.
- 12) Mark S. Daskin (1985), "Logistics: An overview of the art and perspectives on future research",

Transpn Res., Vol 19A, No 5/6, pp 383 – 398.

- 13) Perl, J. and Sirisoponsilp, S. (1988), "Distribution Network: Facility Location, Transportation and Inventory", International Journal of Physical Distribution and Materials Management, Vol. 18, No. 6, pp. 18 – 26.
- 14) Sheffi, Y., Eskandari, B. and Koutspoulos, H. N.(1988), "Transportation Mode Choice Based on Total Logistics Costs", Journal of Business Logistic, Vol. 9, No. 2, pp. 137 – 154.

