

物流費用 分析에 의한 物流 네트워크 設計

金 京 燦¹⁾, 南 奇 燦²⁾

Designing Logistics Network by Analysing Total Distribution Costs

Kim Kyung-Chan · 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. The design captures long-term decision including facility location and fleet acquisition while the operation captures shorter-term activities such as loading and routing vehicles and inventory management.

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. 서론

본 연구는 기업의 전략적 물류의사결정에 있어서 큰 비중을 차지하고 있는 재

-
- 1) 한국해양대학교 항만운송공학과 석사과정 항만운송공학 전공
2) 한국해양대학교 물류시스템공학과 조교수

고, 수송, 입지 등과 관련된 의사결정의 상호연관성과 트레이드 오프를 반영하는 통합된 모형을 제시하고 이를 통해 총비용을 최소화하는 물류 네트워크의 구축에 관한 제반 분석을 수행한다. 구체적으로는 ① 직접운송, 터미널을 경유하는 혼재 운송 등의 최적 수송 네트워크 결정, ② 선적규모에 따른 총물류비용의 민감도 분석, ③수단선택 분석, ④ 시설 입지선정 등을 다룬다.

본 연구에서는 관련 비용 사이의 트레이드 오프 관계를 분석할 수 있고 상대적으로 적용이 용이한 표준 EOQ모형을 확장하여 적용하였다. 즉, 고정된 재주문비용과 주문크기에 비례하는 재고비용의 트레이드 오프에 초점을 두는 표준 EOQ 모형을 확장하여 수송 화물 크기와 수송 빈도의 함수로 나타나는 수송비용을 명시적으로 고려함으로써 수송비와 재고비의 트레이드 오프 관계를 분석하는 것을 가능하게 하였다.

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.

본 논문에서는 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. 이러한 방법은 수송수단 선택과 터미널의 입지 문제에도 적용한다.

2. 이론적인 고찰

2.1 물류망 계획문제

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.

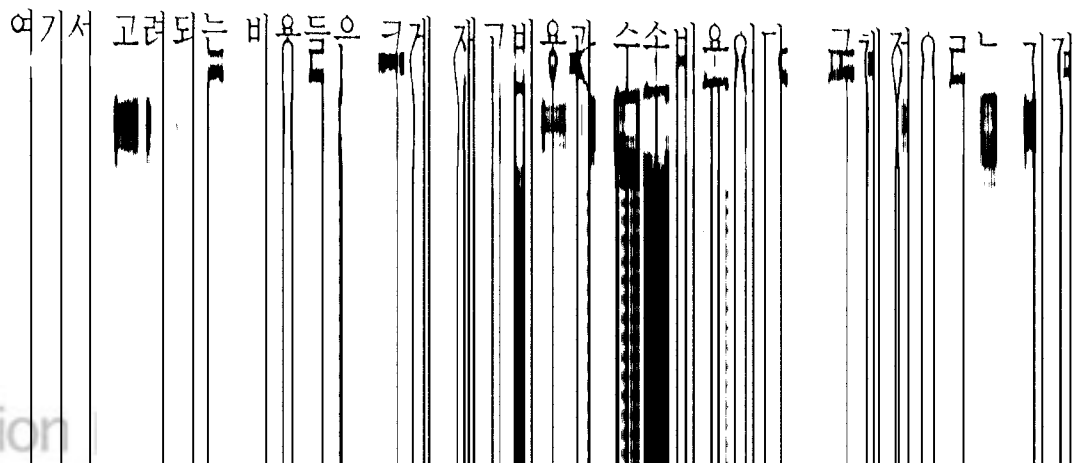
2.2 물류통합모형

1980년, Wager에 따르면, “많은 물류모형들은 조직의 최하수준의 현상에 초점을 맞추고 있다. 즉, 이러한 모형들은 통합적인 물류 의사결정지원시스템이라기 보다는 조달, 구매, 재고유지, 수송 등 단일형태의 물류의사결정에 초점을 두고 있다”라고 밝히고 있다. 물류 분석자와 관리자가 물류의사결정에 필요한 전반적인 식견을 제공하기 위해서는 단기적인 차량운행경로, 운송, 재고관리 등의 의사결정에서부터 장기적인 시설-입지 의사결정까지 그 범위를 확장하고 또한, 생산계획 및 마케팅까지도 포함할 수 있는 통합물류모형(integrated logistics models)의 개발이 요구된다. 현실적으로 전반적인 통합모형을 개발하는 것은 불가능하지만 통합모형 측면의 접근은 개별 의사결정 문제를 중심으로 하는 접근법보다 물류관리와 관련된 트레이드오프를 이해하는데 더 큰 도움을 줄 것이다.

통합물류의사결정에 대한 연구는 수송-재고-입지 등의 물류제반요소에 대하여 복합적으로 결합하여 다각도로 이루어지고 있으나, 본 장에서는 수송-재고 문제에 대한 연구를 중심으로 서술한다.

3. 연구방법론

3.1 총물류비용 모형



전체적으로 활동을 최적화한다.

2.2 물류통합모형

1980년, Wager에 따르면, “많은 물류모형들은 조직의 최하수준의 현상에 초점을 맞추고 있다. 즉, 이러한 모형들은 통합적인 물류 의사결정지원시스템이라기 보다는 조달, 구매, 재고유지, 수송 등 단일형태의 물류의사결정에 초점을 두고 있다”라고 밝히고 있다. 물류 분석자와 관리자가 물류의사결정에 필요한 전반적인 식견을 제공하기 위해서는 단기적인 차량운행경로, 운송, 재고관리 등의 의사결정에서 부터 장기적인 시설-입지 의사결정까지 그 범위를 확장하고 또한, 생산계획 및 마케팅까지도 포함할 수 있는 통합물류모형(integrated logistics models)의 개발이 요구된다. 현실적으로 전반적인 통합모형을 개발하는 것은 불가능하지만 통합모형 측면의 접근은 개별 의사결정 문제를 중심으로 하는 접근법보다 물류관리와 관련된 트레이드오프를 이해하는데 더 큰 도움을 줄 것이다.

통합물류의사결정에 대한 연구는 수송-재고-입지 등의 물류제반요소에 대하여 복합적으로 결합하여 다각도로 이루어지고 있으나, 본 장에서는 수송-재고 문제에 대한 연구를 중심으로 서술한다.

3. 연구방법론

3.1 총물류비용 모형

여기서 고려되는 비용들은 크게 재고비용과 수송비용이다. 구체적으로는 기점에서 선적될 때 까지 보관되는 제품의 재고비용, 운송비용과 운송중인 제품에 의해 발생하는 재고비용, 그리고 소비지에서 최종 소비시점까지 보관되는 제품의 재고비용이다.

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

$$\tau = \frac{V}{Q} + T \quad (1) \quad C_I = PR \left(\frac{V}{Q} + T \right) \quad (2) \quad I = Q \tau = V + QT \quad (3)$$

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

$$\text{제품당 단위 운송비용 } C_T = F/V \quad (4)$$

제품당 총비용 C는 다음과 같이 제품당 운송비용과 재고비용의 합이다.

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

총물류비는 최적의 선적량(V^*)일 때 최소값(C^*)을 갖는다. 최적선적량 V^* 는 그래프를 통하여 도출되거나 또는 총물류비용식을 V에 대해 미분을 하여 구할 수 있다. 편의상 V를 Z라 하면 다음 관계가 성립한다.

$$C(Z)' = -FZ^{-2} + \frac{PR}{2Q} \quad (7) \quad Z^2 = \frac{FQ}{PR} \quad (8) \quad \therefore Z = \sqrt{\frac{FQ}{PR}} \quad (9)$$

이때 최적 선적규모 V^* 는 다음과 같다.

$$V^* = \min(Z, W) \quad (10)$$

식(10)은 기점과 종점에서의 재고를 설명하는 표준적인 EOQ문제의 해법이다. 제품당 최소비용결과치 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

각 제품이 생산지에서 소비지까지 인도되는데 소요되는 평균총시간 τ 는 식(12)와 같이 나타난다.

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

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

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

기점과 터미널, 그리고 터미널과 종점 링크상의 제품당 운송비용은 각각

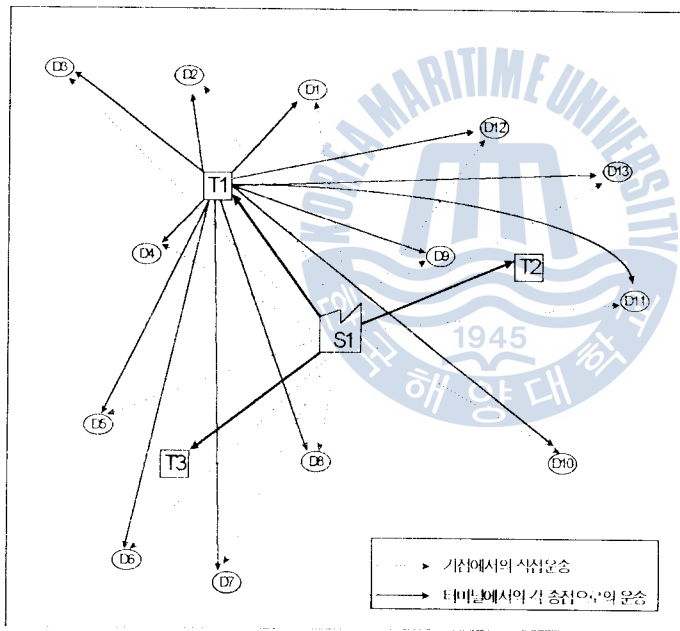
$\frac{F_1}{V_1}$ 과 $\frac{F_2}{V_2}$ 이다. 그러므로 특정 기종점쌍에 대한 제품당 총비용

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

전체 네트워크에 대한 총비용은 각 기종점쌍에 대한 비용의 합이다.

4. 모형의 적용 및 분석

4.1 네트워크 구성



앞 장에서 도출한 비용 식을 적용하기 위해서 단일 생산시설과 3개의 터미널, 그리고 13개의 종점(수요지)을 포함하는 물류 네트워크를 가정한다.

M개의 기점과 N개의 종점을 포함하는 네트워크에 있어서 터미널로의 인바운드 링크상에 각 선적규모 결합에 대해 고려해야 할 가지수는 $2^M \times N$ 개이며,

<그림 4-1> 대상 네트워크

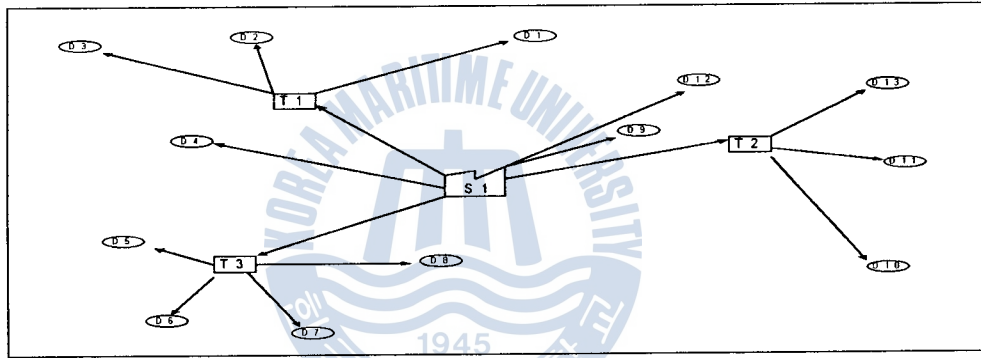
S 개의 선적규모 결합에 대해서는 S^M 결합이 가능하기 때문에 총전략의 수는 $(2S)^M \times N$ 개이다. 따라서 일반적인 네트워크 분석에 있어서 컴퓨터를 이용하여 계산할 수 있을 정도의 전략수로 대안을 줄이기 위해서는 특별한 기법이 요구된다. 본 논문에서는 독립적인 하부 네트워크로 분해하기 위해 경유수송모형을 적용한다.

4.2 최적 네트워크 구축

<표 4-1>, <그림 4-2>는 대상 네트워크의 각 하부 네트워크에 대한 최적전략에 대한 값들을 보여주고 있다.

<표 4-1> 각 네트워크의 비용분석

입지 비용항목	A 네트워크	B 네트워크	C 네트워크	계
최 적 총 물류비	44973.94	49624.76	32060.12	126658.82
모두 직송시 비용	46139.26	50858.32	36671.09	133668.67
모두 환송시 비용	46002.59	53869.98	32060.12	131932.69



<그림 4-2> 최적 네트워크 전략

4.3 총물류비용의 민감도

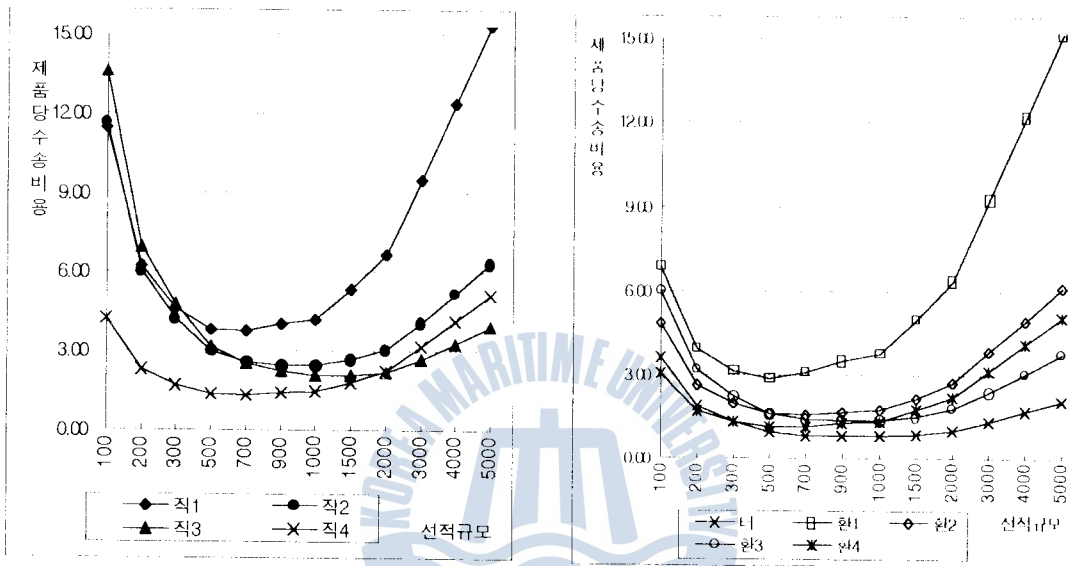
최적 노선결정을 위해 각 종점에 대해 직송과 환송을 비교해 보면, 기점에서 종점 D_n 으로의 직송비용은 유통량 Q_{D_n} 에 달려있다. 그러나 터미널을 경유하는 환송의 경우, 환송비용은 기점과 터미널간의 총유통량 \bar{Q} 에 달려있다.

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.

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 변화

기 때문에 총비용은 달라진다. 종점의 수요량은 선적 규모를 좌우하기 때문에 개별 종점이 환송을 하기 위한 적정환송량의 조건은 다음식으로 표현되어진다.

$$\frac{1}{\sqrt{Q}} = \frac{1}{\sqrt{PRK_2}} \left[\frac{(\sqrt{PRF_1} - \sqrt{PRF_3})}{\sqrt{Q}} \right] - 2PR (T_c + T_3 + T_2 - T_1)$$



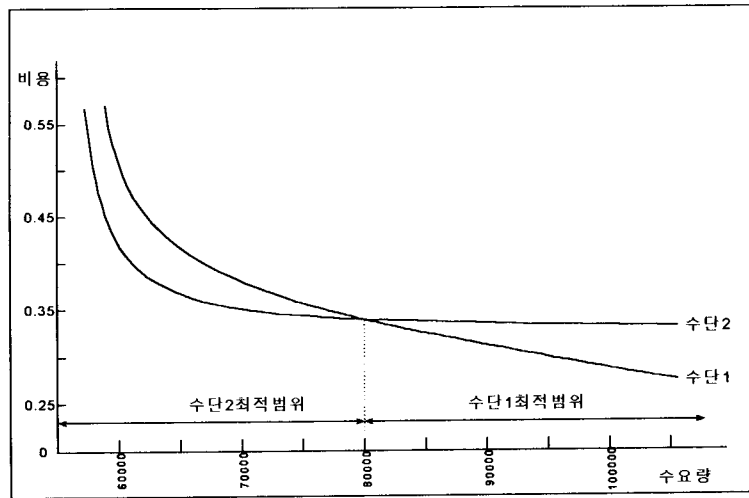
<그림 4-3> 제품당 수송비용과 선적규모와의 관계

T_1 를 통과하는 종점 1, 2, 3, 4에 대한 분석으로, 기점에서 터미널로의 선적규모가 950일 때 제품당수송비가 0.77로 최소가 됨을 알 수 있다. 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.

4.4 수단선택

두 수단간의 총물류비를 비교하기 위해 전술한 모형처럼 비용특성을 적용하였다. 노선상에 있어서 총유통량 Q의 증가는 선적규모를 증가시키고 결과적으로 제품단위당 비용은 감소하게 된다. 최적선적규모가 차량용량에 도달하게 되면 제품단위당 비용은 총유통량 Q에 대하여 둔감해지기 시작하며 이것은 차량용량이 작은 수단에 비해 큰 수단의 비용효과적인 수요량범위가 길어짐을 의미한다

운임측면에서 볼 때, 화물운임이 낮아질수록 최적선적규모는 적어진다. 마찬가지로



<그림 4-4> 수송수단의 최적범위

지로 제품가치와 제품의 재고유지비용이 커질수록 총비용은 선적 규모에 보다 민감해진다. 전술한 내용을 종합해 보았을 때, 네트워크상의 최적수송수단은 총비용에 영향을 미치는 다양한 비용항목들의 조합에 따라 바뀌게 된다.

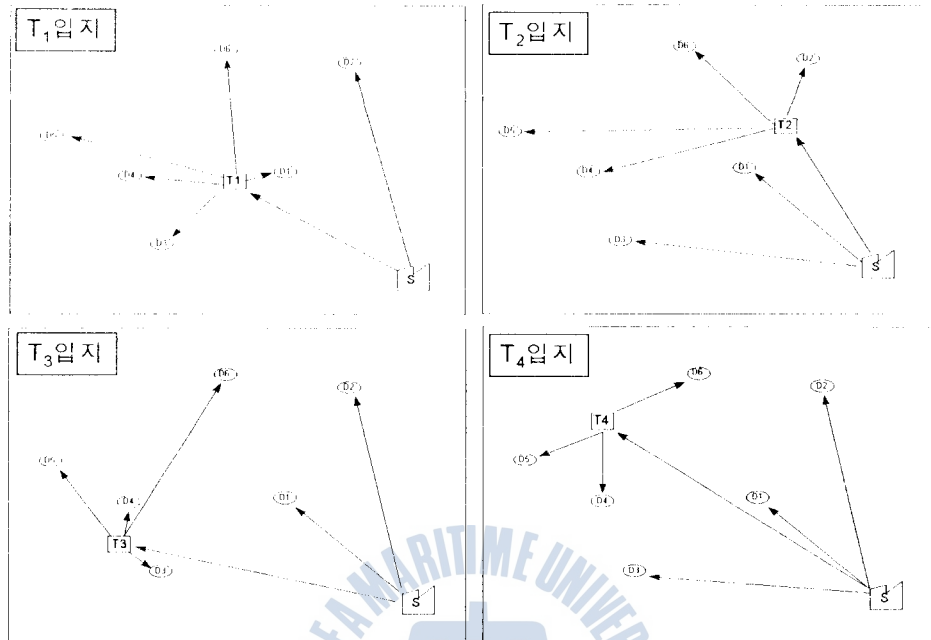
4.5 입지선정

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

<표 4-2>과 <그림 4-5>은 각각 입지 대안들의 총물류비와 최적 네트워크 형태를 보여주고 있다. 도표의 결과에 따르면 T_1 입지가 최적의 전략임을 알 수 있다.

<표 4-2> 입지 대안들의 총물류비

입지 비용항목	T_1 입지	T_2 입지	T_3 입지	T_4 입지
최 적 총 물류비	113976.16	120205.3	115815.11	122839.72
	D1-3-4-5-6 환송시	D2-4-5-6 환송시	D3-4-5-6 환송시	D4-5-6 환송시
모두 환송시 비용	114086.94	126752.16	127805.07	141991.9
모두 직송시 비용	128754.13			



<그림 4-5> 각 입지에 대한 최적 네트워크

5. 결론

본 논문에서 제시한 모형은 표준 EOQ모형을 확장한 것으로서 입지선정, 수송 결정, 그리고 재고의사결정간에 존재하는 비용 트레이드 오프를 반영하여 이들 문제를 통합적으로 분석할 수 있는 틀을 제공함으로써 이 분야의 연구에 기여하였다고 할 수 있다. 또한 본 논문은 복수의 수단, 다양한 선적규모 및 수요량 등을 고려해야 하는 복잡한 네트워크 문제를 경유 수송모형을 통해 하부 네트워크들로 분해함으로써 분석을 용이하게 하였다.

적용 측면에 있어서 본 논문은 특정 경로상에 주어진 화물량을 바탕으로 기종 점쌍에 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 물류 관리자가 수송수단을 선택하는데 도움이 될 수 있음을 밝혔다. 마지막으로 제시된 모형을 입지선정 문제에 적용하여 총물류비용을 최소화하는 터미널 입지대안들을 도출하였다.

전술한 내용들을 종합할 때 본 논문에서 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.

참고문헌

1. 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.
2. Ballou, R. H.(1992), *Business Logistics Management*, Prentice-Hall, Inc.
3. Campbell, J. F (1990), "Designing logistics systems by analysing transportation economies of scale", *Transpn Res. B* 24B, pp. 345-361
4. Daganzo, C. F and Newell, G. F (1986), "Configuration of physical distribution networks", *Network* 16, pp. 113-132.
5. Hall, R.W (1987), "Comparision of strategies for routing shipment through transportation terminals", *Transpn Res.*, A 21A, pp. 421-429.
6. Larson, P. D. (1988), "The Economic Transportation Quantity", *Transportation Journal*, Vol. 28, No. 2, pp. 43-48.
7. 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.
8. 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.
9. Randoph W. Hall(1985), "Dependence between Shipment Size and Mode in Freight Transportation", *Transportation Science*, Vol 10.