

물류네트워크 구축을 위한 현실적 접근 방향에 대한 연구

구 자 용, 송 성 현

홍익대학교 산업공학과

물류네트워크에서 다루는 문제들은 물류거점의 입지문제, 물류거점의 재고문제, 수배송문제로 크게 분류해 볼 수 있으며 특히 이들 각 문제들은 복합적으로 관련되어 있는 것이 사실이다. 이러한 물류네트워크모형을 수리적으로 표현해보면 대규모 혼합정수계획법이 되어 최적해를 구하기가 매우 어려울뿐더러 현실적으로 유리된 가정이 불가피하다. 수리모형의 비현실적인 가정들을 가능한 줄이고 현실적으로 응용가능한 방법론을 제시하는 것이 본 연구의 목적이다. 때문에 단일 최적해를 찾는 수리계획법 대신 대안별로 분석·비교평가 할 수 있는 네트워크 시뮬레이션 기법을 이용하였다. 평가척도는 비용인자와 서비스 수준을 이용하지만 시뮬레이션 기법의 유연성으로 인해 다양한 평가인자를 접목시킬 수 있는 가능성을 제공하였다. 현실성과 실용성에 주안을 둔 본 연구는 프로그래밍 되어 분석 및 계획수립과정에 활용되어질 수 있다.

1. 서론

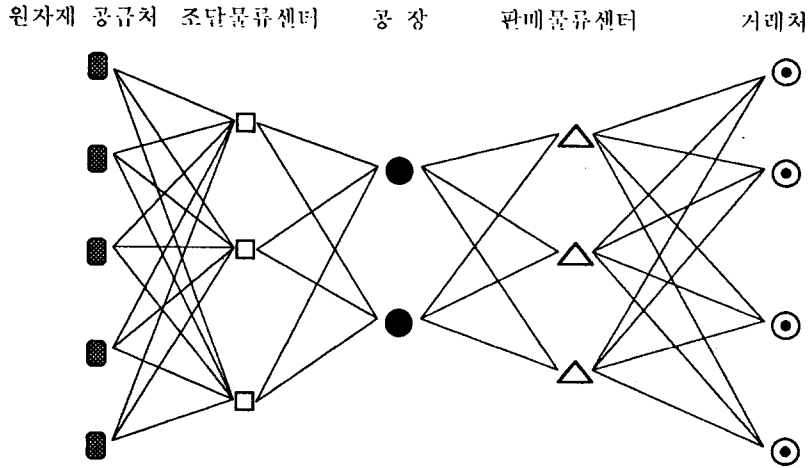
기업 활동에 소요되는 물류비용의 비중이 갈수록 커 가면서 각 기업체들은 물류 합리화 정책을 통한 비용절감에 비상한 관심을 보이고 있다. 특히 국내 물류 환경은 사회간접시설의 부족으로 인한 수배송 환경의 열악, 토지의 고가로 인한 물류거점 확보의 어려움, 소비재의 수요량 특정 지역 편중현상, 인건비의 상승 등으로 과감한 물류정책이 요구되고 있다. 특히 물류거점의 입지에 관한 의사결정은 향후 물류정책의 한계를 규정지을 수 있는 전략적 요소가 된다. 입지에 관한 의사결정과 연관된 의사결정사항으로서 수배송 정책과 재고정책이 있다. 이들 물류정책에 필요한 의사결정사항을 네트워크로 표현한후에 네트워크 기법을 이용하여 부분해를 풀고 부분해들

을 종합하여 최종 분석을 행하도록 한다.

물류네트워크에서 다루게 되는 문제는 크게 물류거점의 입지를 결정하는 전략적 의사결정 부분, 수배송 정책과 재고문제를 다루는 전술적 의사결정 부분으로 나눌 수 있다. 본 연구에서 다루는 물류네트워크는 원자재의 공급처에서 부터 최종 소비자까지의 공급사슬(supply chain)을 포괄적으로 다루게 된다.

2. 물류네트워크 모형의 개요

물류네트워크의 구성은 기본적으로 원자재 공급처, 조달물류센터, 공장, 판매물류센터, 최종거래처등이 노드(node)를 형성하고 이들 사이의 정보 즉, 수배송량, 수배송단가, 수배송 용량한계등이 아크(arc)를 형성한다.[그림 1] 물류거점이라 함은 공급처에서 공급된 물품을 집하·보관하며



[그림 1] 공급사슬을 고려한 물류네트워크

지정된 수요처에서 요구하는 수요량을 분배해주는 중간거점으로서 조달물류센터, 공장, 판매물류센터등이 이에 해당된다. 각각의 물류거점은 공급처에서 공급받은 물품을 수요처로 분배해주는 기본적인 기능을 수행한다.

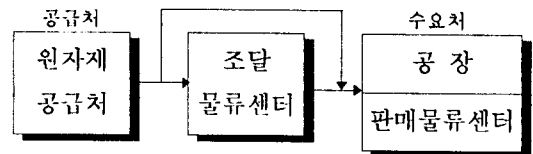
물류네트워크상의 의사결정상황에서 2 단계 이상의 물류거점들의 입지를 동시에 결정하는 경우는 거의 없다. 예를 들어 공장과 판매물류센터의 입지를 결정할 때, 의사결정은 순차적으로 이루어진다. 즉, 공장의 입지를 결정한 후에 판매물류센터의 입지를 결정하게 된다.

따라서 물류거점의 입지문제는 결정해야 할 거점의 역할에 따라 조달물류센터 입지문제, 공장 입지문제, 판매물류센터 입지문제의 3 가지 유형으로 분류될 수 있다.

이들 3 개 유형의 물류거점을 기준으로 공급사슬 전체를 고려한 물류네트워크를 분류해보면 다음과 같은 3 가지 상황으로 구분할 수 있다.

어떤 상황이라도 입지결정의 대상이 되는 거점을 중심으로 물품의 공급처와 수요처가 존재한다.

1) 상황 1: 조달물류센터 입지결정

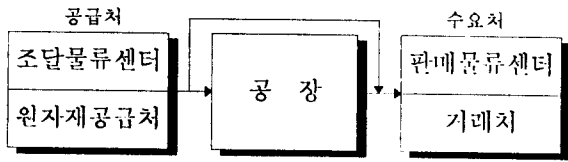


[그림 2] 조달물류센터를 거점으로 한 상황

- 조달물류센터의 입지 결정에 관여하는 공급처로서 원자재를 공급하는 공급처 및 반제품을 공급하는 하청업체들이 있다. 화학업체, 가구업체, 자동차업체등에서 중요하게 다루어지는 부분으로서 특히 많은 수의 하청업체와 긴밀한 협력이 필요한 자동차 산업의 경우는 하청업체가 밀집한 지역에 조달물류센터를 구축하여 각종 부품들을 종합적으로 집하하여 공장으로 수송하는 경우와 공장 근처에 물류거점을 구축하여 생산라인에 투입되는 부품의 시간간격을 줄이는 형태로 구분될 수 있다.

대표적인 수요처로는 공장(가공공장 및 조립공장)이 될 수 있으며 기타 수요처로는 판매물류센터, 또는 A/S를 위한 A/S 센터 및 대리점등이 있다.

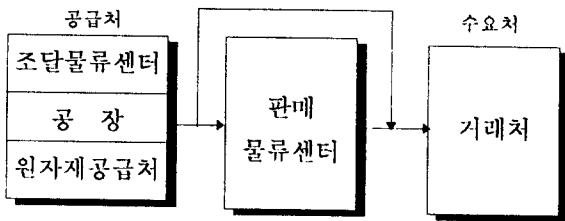
2) 상황 2: 공장 입지결정



[그림 3] 공장을 거점으로 한 상황

- 공장은 물류네트워크의 중심에 위치하며 완제품 및 반제품을 생산하고 생산된 제품을 보관하는 창고의 역할도 수행한다.
- 주요 공급처로는 조달물류센터가 있으며 원자재 공급처 및 하청업체등이 있다.
- 공장의 주요 수요처는 기본적으로 판매물류센터가 되며, 물동량에 따라서 직송이 가능한 영업점 및 대리점등도 있다.

3) 상황 3: 판매물류센터 입지결정



[그림 4] 판매물류센터를 거점으로 하는 상황

- 판매물류센터는 일반적으로 지칭하는 물류센터로서 물류활동의 핵심역할을 수행한다. 완제품을 주로 취급하며 제품의 종류에 따라 재고정책 및 수배송정책이 달라진다.
- 주요공급처로는 공장, 조달물류센터, 원자재공급처등이 있으며, 운송형태는 대규모의 수송이 주를 이룬다.
- 주요수요처는 배송센터의 역할을 수행하는 영업점, 대리점, A/S 센터등이며, 운송형태는 소규모 다빈도의 배송 및 수배송형태가 주를 이룬다.

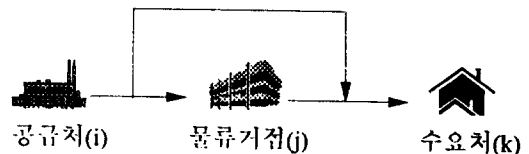
본 연구의 목적은 공급사슬 전체를 포괄하는 물류네트워크를 상술한 3 가지 상황으로 분류하여 이들 각 상황에 공통적으로 적용가능한 해법을 개발하는 데 있다. 그리고, 현실적으로 유용한 물류네트워크 설계 및 평가용 시뮬레이션 패키지를 개발하는 것이다.

본 연구를 통해 최종적으로 출력되는 정보는 다음과 같다.

- 개선하게 되는 물류거점의 위치, 규모
- 개선된 물류거점에 할당된 수요처의 수, 할당 영역, 할당 물동량
- 물류네트워크상의 각 운행경로 및 수배송량
- 할당영역에 대한 정보(서비스 측면)
 - (예) · 각 수요처에 대한 평균 서비스 수준
 - 사전에 정의된 한계서비스 수준을 초과하지 못하는 비율
- 물류거점의 개선에 따른 시뮬레이션 분석
 - (예) · 년차적인 물동량의 변화에 따라 개설하는 것이 적합하다고 여겨지는 물류거점

3. 수리모형

공급사슬 전체를 고려한 물류네트워크의 구축에 있어서 각각의 상황을 전술한 바와 같이 구분할 수 있겠지만, 실제로 물적흐름의 모든 상황은 공급처와 수요처를 양극으로 [그림 5]와 같은 일반화된 형태로 나타낼 수 있다.



[그림 5] 물적흐름의 일반상황

3.1 기호정의

- subscript

i : 공급처 $i=1, 2, \dots, I$

j : 물류거점 $j=1, 2, \dots, J$

k : 수요처 $k=1, 2, \dots, K$

r : 제품의 종류 $r=1, 2, \dots, R$

l : 수요처 i 에서 물류거점 j 로 운송하는데 사용되는 차량의 종류

m : 물류거점 j 에서 수요처 k 로 운송하는데 사용되는 차량의 종류

n : 공급처 i 에서 수요처 k 로 직송하는데 사용되는 차량의 종류

- 매개 변수

C_{ijrl} : 차종 l 이용시 제품 r 을 공급처 i 에서 물류거점 j 로 보내는 단위물류비

d_{jkm} : 차종 m 이용시 제품 r 을 물류거점 j 에서 수요처 k 로 보내는 단위물류비

E_{ikn} : 차종 n 이용시 제품 r 을 공급처 i 에서 수요처 k 로 직송하는 단위물류비

f_{js} : 창고유형이 s 인 물류거점 j 의 고정비

v_{js} : 창고유형이 s 인 물류거점 j 의 단위당 변동비

UP_{ir} : 공급처 i 에서 제품 r 의 공급능력

UT_{jr} : 물류거점 j 에서 제품 r 의 처리능력

D_{kr} : 수요처 k 에서 제품 r 의 수요량

UX_{ijrl} : 차종 l 이용시 공급처 i 에서 물류거점 j 까지 제품 r 의 최대유통량

UY_{jkm} : 차종 m 이용시 물류거점 j 에서 수요처 k 까지 제품 r 의 최대유통량

UZ_{ikn} : 차종 n 이용시 공급처 i 에서 수요처 k 까지 제품 r 의 최대유통량

- 결정 변수

X_{ijrl} : 차종 l 이용시 제품 r 을 공급처 i 에서

물류거점 j 까지 운송하는량

Y_{jkm} : 차종 m 이용시 제품 r 의 물류거점 j 에서 수요처 k 까지 운송하는 양

Z_{ikn} : 차종 n 이용시 제품 r 의 공급처 i 에서 수요처 k 까지 직송하는 량

Φ_{js} : 물류거점의 개설여부 및 개설유형을 나타내는 0—1 변수

3.2 수리모형

$$\begin{aligned}
 TC = & \sum_i \sum_j \sum_r \sum_l C_{ijrl} X_{ijrl} \\
 & + \sum_j \sum_s \phi_{js} \left[f_{js} + v_{js} \sum_i \sum_r \sum_l X_{ijrl} \right] \\
 & + \sum_j \sum_k \sum_r \sum_m d_{jkm} Y_{jkm} \\
 & + \sum_i \sum_k \sum_r \sum_n E_{ikn} Z_{ikn}
 \end{aligned} \tag{1}$$

s.t.

$$\sum_j \sum_r \sum_l X_{ijrl} + \sum_k \sum_r \sum_n E_{ikn} \leq \sum_r UP_{ir} \tag{2}$$

$i=1, \dots, I$

$$\sum_i \sum_r \sum_l X_{ijrl} = \sum_k \sum_r \sum_m Y_{jkm} \tag{3}$$

$j=1, \dots, J$

$$\sum_i \sum_r \sum_l X_{ijrl} \leq \sum_r UT_{jr} \sum_s \Phi_{js} \tag{4}$$

$j=1, \dots, J$

$$\sum_j \sum_r \sum_m Y_{jkm} + \sum_i \sum_r \sum_n Z_{ikn} = \sum_r D_k \tag{5}$$

$k=1, \dots, K$

$$\sum_s \Phi_{js} \leq 1 \quad j=1, \dots, J \tag{6}$$

$$X_{ijrl} \leq UX_{ijrl} \sum_s \Phi_{js} \tag{7}$$

$i=1, \dots, I \quad j=1, \dots, J$
 $r=1, \dots, R \quad l=1, \dots, L$

$$Y_{jkrn} \leq UY_{jkrn} \sum_s \Phi_{js}$$

$$j=1, \dots, J \quad k=1, \dots, K$$

$$r=1, \dots, R \quad m=1, \dots, M \quad (8)$$

$$Z_{jkrn} \leq UZ_{jkrn} \sum_s \Phi_{js}$$

$$j=1, \dots, J \quad k=1, \dots, K$$

$$r=1, \dots, R \quad n=1, \dots, N \quad (9)$$

$$X_{ijrl} \geq 0$$

$$i=1, \dots, I \quad j=1, \dots, J$$

$$r=1, \dots, R \quad l=1, \dots, L \quad (10)$$

$$Y_{jkrm} \geq 0$$

$$j=1, \dots, J \quad k=1, \dots, K$$

$$r=1, \dots, R \quad m=1, \dots, M \quad (11)$$

$$Z_{ikrm} \geq 0$$

$$i=1, \dots, K \quad k=1, \dots, K$$

$$r=1, \dots, R \quad n=1, \dots, N \quad (12)$$

$$\Phi_{js} \in \{0,1\}$$

$$j=1, \dots, J \quad s=1, \dots, S \quad (13)$$

4. 해법

4.1 해법의 개요

본 연구에서 다루는 물류네트워크의 수리모형은 비선형혼합정수계획법 문제로 표현되며 한번에 모든 문제를 풀기 어려우므로 단계적인 절차를 통해 부분해를 결정하고 이들을 결합하여 대안평가에 이용한다. 대안에 대한 평가는 비용측도와 서비스 측도를 사용하도록 하며, 평가결과로는 단일 최적해를 제공하지 않고 대안간의 우선순위를 통해 다른 평가측도와 결합할 수 있는 유연성을 제공한다. 이와 같은 유연성은 실제의 현실에 적용시, 비용 측도 이외의 다양한 평가 측도를 이용하여 대안을 평가해보고 이들을 복합적으로 분석할 수 있도록 해준다.

해법 절차는 크게 3부분으로 구분할 수 있다.

물류거점 후보지에 대한 조합으로 대안을 형성하는 1 단계와 대안별 비용합에 의한 비용평가를 수행하는 2 단계, 서비스 측도의 평가를 수행하고 두가지 평가측도를 결합하는 3 단계이다. 본 연구에서는 네트워크 시뮬레이션 기법을 사용한다.

4.2 해법의 내용

1) 대안형성단계

네트워크 시뮬레이션을 수행할 수 있는 대안을 형성하는 단계이다. 거점 후보지가 N 개라면 대안의 갯수는 최대 2^N 개가 된다. N 이 클 경우 모든 대안들을 다 비교할 경우 대안의 수가 너무 많게 된다. 그래서, 본 연구에서는 일종의 sort down 기법을 이용하여 적은 수의 거점대안을 만들거나 평가자가 의도하는 대로 대안을 수립할 수도 있게 한다.

2) 비용평가단계

각각의 대안별로 관련된 모든 비용을 구하여 비용합에 의한 우선순위를 결정하는 단계이다. 총비용을 구하기 위해서는 물류거점의 개설 유형이 설정되어야만 한다. 개설유형에 따라 물류거점의 투자비와 운영비가 달라진다. 최소비용흐름문제(minimum cost network flow)는 “공급처-물류거점-수요처”로 이루어지는 물류네트워크상에서 거점에 대한 입출하량을 최소비용이 되는 경로와 함께 제공해준다. 물류네트워크 수리모형에서 거점의 위치가 고정되면 최소비용흐름문제가 된다. 각 대안은 거점의 후보지를 고정시켜 비용합을 구하게 되므로 각각의 대안마다 최소비용흐름문제를 풀게되면 거점의 규모, 수요처의 할당, 최소비용경로, 경로별 수송량등을 구하고 대안별 총비용을 얻을 수 있게 된다.

3) 서비스수준 평가 및 결과분석

각각의 대안별로 지정된 서비스수준에 대해 평가하거나 기타 평가척도를 이용한 결과를 종합적으로 분석하는 단계이다. 기본적으로 사용하는 평가척도는 평균배송시간 또는 지정된 서비스를 수행할 수 없는 수요처의 백분율등이며 평가자가 의도하는 다양한 서비스 척도를 이용할 수 있다. 또한 한계 서비스 수준을 설정하여 이를 벗어나는 대안을 걸러내는 옵션을 줄수도 있다.

5. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 물류시스템 구축을 위해 필요한 의사결정 사항들에 대하여 네트워크 시뮬레이션 기법을 적용시켜 보았다. 기존에 많은 연구가 진행되었던 최적화기법을 사용하지 않고 네트워크 시뮬레이션 기법을 이용한 이유는 1) 비용인자 이외의 평가척도를 사용하기 위해서 이다. 단일 최적해를 찾지 않고 대안별 비용평가의 결과에 대해 서비스수준 평가 및 기타 평가척도를 결합시킬 수 있는 유연성을 제공할 수 있다. 2) 최적화 기법을 적용시킬 때 발생하는 비현실적인 가정들을 가능한 줄이고 현실성을 높이고자 하였다.

비용평가 부분에서는 대안형성과정에서 거점의 위치가 고정되므로 최소비용흐름문제를 적용시킬 수 있었고, 평균배송시간 및 서비스에서 제외되는 수요처의 백분율등으로 서비스 수준의 평가를 수행하였다.

본 연구에서 설정한 네트워크 운영 상황은 수요처가 여러 물류거점에서 물품을 공급받는 것으로 하였다. 현재, 수요처가 단일 거점에서 서비스 받을 수 있는 상황에 대해서도 적용될 수 있는 해법과 그에 따른 네트워크 시뮬레이션 패키지를 개발중이다.

참고 문헌

1. 김성희, 정병호, 김제경, 「의사결정분석 및 응용」, 영지 출판사, 1994.
2. 문상원, “생산·분배시설의 구축 및 운용계획 지원 시스템의 실예”, 「물류학회지 제 2 권」 (1992)
3. 송성현, “물류시스템 선계를 위한 의사결정지원 패키지의 개발”, 「경영과학 제 10 권 제 2 호」 (1993)
4. 조경익, “차량 경로를 고려한 다수분배설비 입지결정 모형”, 「韓國 軍事運營分析 학회지 제 3 회」 (1988)
5. 차중갑, 전병구, “우리나라의 物流센터 設立에 대한 小考”, 「물류학회지 제 3 회」 (1984)
6. Blumenfeld.D.E.L, L.D.Burnes, J.D.Diltz, “Analyzing Trade-Offs Between Transportation, Inventory and Production Costs on Freight Networks”, *Trasp.Res*(1985), pp.261-380
7. C.H.AI KENS, “Facility location models for distribution planning”, *European Journal of Operational Research* 22(1985)
8. Daganzo.S., C.D.T. Waston-Gandy and N.Chrisofeds, “Distribution Management: Mathematical Modeling and Practical analysis”, *Charles Griffin, London*(1971)
9. Kaufman L., M.V.Edde and P.Hansen, “A plant and Warehouse Locaton Problem”, *Operation Research Quarterly*, 28(1977)
10. Perl J. and Sirisoponsilp, “Distribution Networks:Facility Location, Transportation and Inventory”, *Int.J. of Physical Distribution and Material Management* 18(1988), pp.18-26
11. Van Roy T.J., “Multi-level Production and Distribution planing with transportation fleet optimization”, *ManagementSci.* 35(1989),pp.1443-1453