

물류시스템 설계를 위한 의사결정지원 패키지의 개발†

송성헌* · 양병학**

Development of Decision Supporting Package
for the Design of a Physical Distribution System

Sung-Hon Song* · Pyung-Hak Yang**

ABSTRACT

Strategic decisions related to the design of a physical distribution system can be classified into three basic components : facility location, transportation, inventory decisions. In this research the interdependence of those decisions are expressed in a mathematical model such that the total relevant cost of the system is minimized. We suggested a heuristic technique for solving the model. In broad terms, our solution technique combines a heuristic method for determining which candidate DCs to open and an exact method for minimizing costs given a set of open DCs. And we also developed a decision supporting package for the design of a physical distribution system.

1. 서 론

물류란 물적유통(Physical Distribution)의 줄인 말로, 생산된 제품이 고객의 손에 들어갈 때까지의 수송 및 보관등의 활동 전체를 포괄하는 개념이다. 물류시스템은 기본적으로 공장 또는 구매선, 분배센터, 배송센터, 공장과 분배센터간의 제품을 운송하는 수송차량, 분배센터와 배송센터간의 제품을 운송하는 수배송차량, 그리고 이들을 서로 연결하는 정보로 구성된다. 배송센터는 제품의 매출을 목적으로 고객에 제품을 운송배달하는

배송기능을 수행한다. 분배센터는 배송센터의 재고보충을 목적으로 배송센터에 제품을 수송 또는 배송하는 기능을 수행한다.

여기서 수송이란 제품운송시 공급처에서 출발한 차량이 중간에 다른 곳을 들르지 않고 해당 수요처로 대단위의 제품을 곧바로 운송하는 것을 말하며, 배송이란 공급처를 출발한 차량이 여러 수요처를 순회방문하면서 수요처에서 필요로 하는 제품을 운송하는 것을 말한다. 그리고 수배송은 수송과 배송의 혼합형태의 제품운송을 말한다. 공장과 분배센터간의 제품운송은 수송차량에

† 이 논문은 1991년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

* 홍익대학교 산업공학과

** 경원대학교 산업공학과

의해서 대단위로 이루어 지고, 분배센터와 배송센터간의 제품운송은 수배송차량에 의해서 중소단위로 이루어 진다.

배송센터에는 최소한도로 필요한 재고만 있다. 재고보충은 분배센터로 부터 이루어 진다. 재고보충이 제대로 이루어 지지 않으면 배송센터의 기능이 지장을 받게 된다. 따라서 재고보충시스템은 배송센터의 기능유지에 매우 중요한 역할을 한다. 분배센터는 관할 배송센터에 제품을 공급하기 위해서 재고를 확보한다.

배송센터는 고객의 요구에 신속히 대응하기 위하여 고객이 있는 시장의 최전선에 위치하고, 분배센터는 그 후방에 위치한다. 그 뒤에는 공장 또는 구매선이 위치한다. 분배센터는 공장 또는 구매선으로 부터 제품을 확보하여 배송센터를 지원함으로써, 공장과 배송센터간의 교량역할을 한다.

물류시스템의 설계에는 크게 3가지 측면, 즉 분배센터의 입지, 수배송, 재고에 대한 의사결정이 상호 관련되어 있다. 분배센터의 수와 위치와 규모 및 재고의 운영방법에 따라 분배센터에 대한 투자비용, 분배센터의 운영비용 및 재고비용, 공장과 분배센터간의 분배비용, 분배센터와 배송센터간의 수배송비용등의 물류시스템에 관련된 제반 비용이 달라진다. 분배센터의 수가 증가되면, 전체 시스템의 재고가 증가된다. 분배센터의 위치에 따라 관할 배송센터들이 달라지게 되며, 공장과 분배센터간의 거리, 분배센터와 관할 배송센터간의 거리, 그리고 관할 배송센터들의 수요량은 분배센터의 재고수준에 영향을 미친다. 분배센터에서의 재고수준에 관한 결정은 주문량의 크기와 주문횟수의 결정에 영향을 미치며, 이는 또한 운송차종 및 차량의 적재용량에 따라 달라진다.

본 연구의 목적은 위에서 언급한 요인들의 복합적인 관계를 수리 모형을 통해서 규명하고, 그러한 요인들을 고려한 경제적인 물류시스템 설계

를 위한 의사결정지원 프로그램을 개발하는 것이다.

물류시스템 설계 및 운영에 관련된 기존의 연구를 네가지로 구분해 보면 설비입지문제, 수송문제, 차량운행문제, 재고문제에 관한 연구들이다. 이 문제들에 대해서는 지난 20여년간 개별적으로 활발한 연구가 이루어져 왔다. 이 중 수송문제, 차량운행문제, 재고문제는 주로 물류시스템 운영에 관한 분야에 속하고, 설비입지문제는 물류시스템 설계에 관련된 분야이다.

기존 대부분의 설비입지모형의 특징은 다음과 같다.

[Aikens(1985), Mentzer와 Schuster(1982)]

- 분배센터의 운영비를 선형함수로 가정
- 운송수단이 미리 정해져 있다고 가정
- 대부분이 수송단가가 차량적재용량이나 주문량과 무관한 것으로 가정
- 재고비용을 입지모형의 목적함수 비용에 명시적으로 포함시키지 않았음
- 수배송비용을 명시적으로 포함시키지 않고 있음

그러나 물류시스템에는 실제로 설비입지문제, 수송문제, 차량운행문제, 재고문제가 복합적으로 연결되어 있다. 따라서 최근의 국제적 연구동향을 살펴보면 이들 문제들을 총체적으로 결합시켜서 하나의 의사결정문제로 다루려는 추세이다.

본 연구와 관련된 주요 연구를 살펴보면 다음과 같다.

Webb(1968), Rand(1976), Krarup과 Pruzan(1980)은 수배송비용이 분배센터나 배송센터의 위치, 차량의 적재용량과 운행경로등에 따라 달라지게 됨을 보였다. 오래전부터 많은 학자와 실무자들이 센터의 위치와 차량운행경로간의 상호 관련 관계를 인식하고는 있었지만, 차량운행경로문제(Vehicle Routing Problem) 자체의 계산상의

복잡성때문에 입지분석에 차량운행경로를 반영하는 연구는 극히 제한적이었다.

Eilon et al.(1971)은 분배센터입지문제(Distribution Center Location Problem)에서 차량운행경로를 고려하였는데, 그는 외판원문제 (Traveling Salesman Problem)에 확률방법을 적용하여 배달비용을 추정하였다. 이 추정치는 극히 한정적인 경우에만 유용하다.

Federgruen과 Lageweg(1980)은 생산자로부터 소비자에 이르기까지 몇 단계를 거쳐서 상품을 분배하는 계층적 물류시스템을 설계하는 지침을 마련하였는데, 재고는 고려하지 않았다.

Laporte와 Nobert(1981)는 여러지점을 서비스하는 외판원들의 활동거점인 단일차고의 위치를 결정하는 문제를 다루었다. 이때 단일의 최적 차고위치는 차고의 운영비용과 차량운행비용이 최소가 되는 곳이다. 그들은 미리 차량운행경로비용을 추정하는 대신 최적의 차고위치와 복수 외판원의 차량운행경로를 동시에 산출하는 수리모형을 세우고 정수계획모형의 해법을 적용하는 방안을 제시하였다.

Perl과 Daskin(1985)은 배달비와 창고운영비의 합계가 최소가 되도록 창고의 수, 규모와 위치, 고객을 관할하는 창고영역, 차량운행경로를 결정하는 창고입지문제와 차량경로문제가 복합된 문제(Warehouse Location-Routing Problem)를 다루었다. 그들은 이 문제를 3개의 부분문제로 분할하였다. 배달비용은 부분문제의 하나인 복수차고 차량경로문제를 발전적 해법을 이용하여 분결과로 산출된다. 여기서 구해진 차량경로별 배달비용은 다른 부분문제의 하나인 입지문제에 대한 기본 정보로 활용된다. 그들은 입지문제와 차량경로 문제를 번갈아 반복하여 풀음으로써 개선된 해를 얻게되는 발전적 방법을 제시하였다.

Daganzo(1984a,b)는 차고를 중심으로 일정지

역을 여러 구역으로 분할하고, 그 구역내에 산재해 있는 지점들을 서비스할 차량의 경로를 수작업으로 만들어가는 과정을 예시하고, 그 방법에 근거해서 구역의 형상에 맞추어 차량이 운행할 거리를 예측하는 간단한 공식을 개발하였다.

Daganzo와 Newell(1986)은 수송비와 재고유지비를 최소화하기 위한 물류시스템의 최적 구조를 찾으려 하였다.

Blumenfeld, et al(1985)는 수송비와 재고비를 최소화하여 경제적 주문량을 산출하는 연구를 한 바있다. 그들은 주문량이 차량적재용량을 초과할 수 없다는 제한적인 경우 만을 고려하였다. Aucamp(1982)는 주문량이 차량적재용량의 배수가 되어야 한다거나, 차량적재용량의 이하이어야 한다는 제약에 상관없이 어떠한 차량용량 제약하에서도 일반적으로 적용될 수 있는 경제적 주문량을 산출하는 방법을 개발하였다.

송성헌(1987)은 단단계 물류관리시스템에서 차량운행을 고려한 분배센터의 입지를 선정하는 문제를 다루었다.

Perl and Sirisoponilp[1988]이 본 연구에서와 같이 물류시스템 설계모형을 다루었으나, 분배센터의 비용을 concave 대신 선형함수로 가정하였으며, 그들 모형에 대한 해법을 제시하지 않았다.

본 연구에서 다루려는 물류시스템에 관련된 제비용은 아래와 같다.

- 분배센터의 투자 및 운영에 관련된 고정비용 및 변동비용
- 공장에서의 재고유지비
- 공장과 분배센터간의 수송비용
- 분배센터의 재고유지비와 주문비
- 분배센터와 배송센터간의 수배송비용

그리고 물류시스템 설계모형(physical distribution system design problem : PDSP)에서의 특징은 아래와 같다.

- 복수공장 : 각 공장의 위치와 용량이 알려져 있음
- 복수분배센터 후보지 : 각 분배센터 후보지의 위치는 미리 알려져 있음
- 복수배송센터 : 각 배송센터의 위치와 수요가 알려져 있음
- 복수운송차종 : 운송차종별로 차량적재용량이 주어짐
- 분배센터의 운영비 : 입출하 물동량에 따라 운영비가 달라지는데, 그 관계는 선형 관계가 아닌 오목비용(concave cost) 함수관계임
- 수배송차량 : 분배센터를 출발한 차량은 하나의 경로에 여러 배송센터를 순회방문하면서 제품운송을 수행할 수 있음

본 연구에서 개발된 패키지는 물류시스템 설계 및 평가시 의사결정자에게 아래와 같은 정보를 제공한다.

- 여러 후보지들중 분배센터 몇 개를 어느 어느 곳에 개설할 것인가
- 각 공장이나 구매선에서 각 분배센터로 일정 기간에 얼마큼을 수송할 것인가
- 각 분배센터에서 각 배송센터로 일정기간에 얼마큼을 수송할 것인가
- 어떠한 운송차종을 이용할 것인가
- 분배센터에서 공장으로 얼마큼씩을 주문할 것인가
- 분배센터의 출하규모에 따라 어떤 유형으로 분배센터를 개설해야 경제적인가

2. 모형 및 해법 개요

2.1 물류시스템의 설계모형

물류시스템 설계모형(PDSP)이란 물류시스템에 관련된 제 요인들을 복합적으로 고려하여 경

제적인 물류시스템을 설계하기 위한 의사결정모형이다. 이 모형은 다음과 같은 수리모형으로 표현된다.

〈매개변수〉

C_{ijm} : 차종 m 을 이용시 공장 i 와 분배센터 j 간의 단위당 물류비용

d_{jkn} : 차종 n 을 이용시 분배센터 j 에서 배송센터 k 까지의 단위당 물류비용

f_{js} : 창고규모가 s 인 분배센터 j 의 고정비용

v_{js} : 창고유형이 s 인 분배센터 j 에서의 단위당 변동비용

UP_i : 공장 i 의 공급능력

UD_j : 분배센터 j 의 처리능력

D_k : 배송센터 k 의 수요량

UX_{ijm} : 차종 m 이용시 공장 i 에서 분배센터 j 까지의 최대유통용량

UZ_{jkn} : 차종 n 이용시 분배센터 j 에서 배송센터 k 까지의 최대유통용량

그런데 서론에서 언급했듯이 물류관련 비용계수들은 물동량과 함수관계에 있다. 이 함수관계는 〈부록 : 비용추정모형〉에서 자세히 다룬다.

〈변수〉

X_{ijm} : 차종 m 이용시 공장 i 에서 분배센터 j 까지의 수송량

Y_{js} : 분배센터의 개설여부 및 개설유형을 나타내는 0-1 변수

1, 만일 분배센터 j 가 유형 s 로 개설되면

0, 그렇지 않으면

Z_{jkn} : 차종 n 이용시 분배센터 j 에서 배송센터 k 까지의 수배송량

<수리모형>

(PDSP)

$$\text{Min TC} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M C_{ijm} X_{ijm} \quad (1)$$

$$+ \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S Y_{js} [f_{js} + v_{js} \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M X_{ijm}] \quad (2)$$

$$+ \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N d_{jkn} Z_{jkn} \quad (3)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M X_{ijm} \leq \text{UP}_i \quad i=1, \dots, I \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M X_{ijm} = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N Z_{jkn} \quad j=1, \dots, J \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M X_{ijm} \leq \text{UD}_j \sum_{s=1}^S Y_{js} \quad j=1, \dots, J \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N Z_{jkn} = D_k \quad k=1, \dots, K \quad (7)$$

$$\sum_{s=1}^S Y_{js} \leq 1 \quad j=1, \dots, J \quad (8)$$

$$X_{ijm} \leq \text{UX}_{ijm} \sum_{s=1}^S Y_{js} \quad i=1, \dots, I \quad j=1, \dots, J \quad m=1, \dots, M \quad (9)$$

$$Z_{jkn} \leq \text{UZ}_{jkn} \sum_{s=1}^S Y_{js} \quad j=1, \dots, J \quad k=1, \dots, K \quad n=1, \dots, N \quad (10)$$

$$X_{ijm} \geq 0 \quad i=1, \dots, I \quad j=1, \dots, J \quad m=1, \dots, M \quad (11)$$

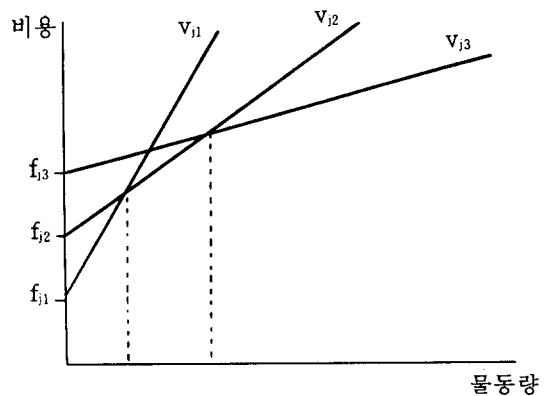
$$Y_{js} \in \{0, 1\} \quad j=1, \dots, J \quad s=1, \dots, S \quad (12)$$

$$Z_{jkn} \geq 0 \quad j=1, \dots, J \quad k=1, \dots, K \quad n=1, \dots, N \quad (13)$$

목적함수에서 비용평가는 연간물동량을 기준으로 한다. (1)항은 공장과 분배센터간의 수송비, 주문 및 재고유지비 등의 물류비를 나타내고, (2)항은 분배센터의 고정비, 하역 및 보관비 등의 변동비를 나타낸다. 본 연구에서는 창고유형의 일련번호 s가 클수록 창고규모가 크고 고도의 창고시설을 갖추고 있다고 가정한다. 그래서 창고규모가 큰 분배센터일수록 분배센터의 고정비는 커지고 단위 변동비는 적게 됨을 전제로 하고 있다. 이러한 전제는 대부분의 현실적 상황에 부합되는 것이다. 분배센터에 대한 제반 총비용과 창고크기와의 오목함수 (concave function) 관계를 현실에 가깝게 분석모형에 반영하기 위해서, 본 논문에서는 창고 출하규모에 따른 개설유형을 S가지로 구분하고 그에 따른 비용과 창고 출하규모의 관계를 단순한 선형함수가 아닌 piece-wise linear 함수로 간주한다. 분배센터 개설유형에 따른 분배센터의 고정비와 단위 변동비는 다음과 같은 관계를 갖는다.

고정비 : $f_{j1} < f_{j2} < \dots < f_{js}$

변동비 : $v_{j1} > v_{j2} > \dots > v_{js} \quad j=1, \dots, J$



[그림 1] 창고출하규모에 따른 경제적 분배센터의 개설유형

목적함수의 (3)항은 분배센터와 배송센터간의 수배송비용을 의미한다. 제약조건식 (4)는 각 공장 i 의 생산능력에 대한 제약을 나타낸다. 식(5)는 분배센터 j 에 대한 입출고 물량에 대한 관계를 나타내고, (6)은 개설된 분배센터 j 의 입출하처리 능력을 나타낸다. 식(7)은 각 고객 k 의 수요가 분배센터들에 의해서 충족되어야 함을 나타내고, (8)은 분배센터 j 가 개설될 경우에 규모에 따른 S 가지 개설유형중 한가지 유형으로 개설됨을 의미한다. 식 (9)는 차종 m 에 의해 공장 i 에서 분배센터 j 로 운송될 수 있는 최대 수송가능량에 대한 제약을 의미하며, (10)은 차종 n 에 의해 분배센터 j 에서 배송센터 k 로 운송될 수 있는 최대수송가능량에 대한 제약을 의미한다. 식 (11) - (13)은 변수에 대한 제약조건을 나타낸다.

-분배센터 입지 모형

본 연구에서는 물류시스템 설계모형(PSDP)에서 물류관련 비용계수들의 값이 상수로 주어지게 될 경우의 문제를 분배센터 입지문제(distribution center location problem : DCP)이라고 정의한다. (DCP)는 비선형혼합정수계획법 문제로 표현된다.

-최소비용 네트워크 흐름문제

수리모형 (DCP)에서 결정변수 Y_{js} 의 값이 모든 j 와 s 에 대해서 0 또는 1로 고정되었다고 하자. 그리고 그에 대응되어 개설되는 분배센터의 창고 유형 s 를 s^* 라 하자. 그러면 분배센터 j 의 고정비 f_j 와 변동비 v_j 는 다음과 같이 설정된다.

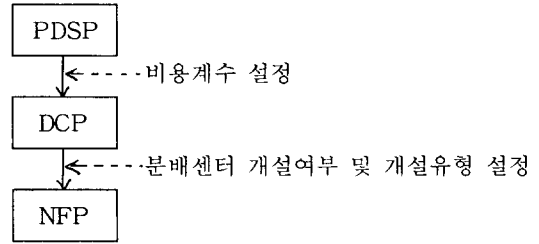
$$f_j = \sum_s Y_{js} \cdot f_{js}$$

$$v_j = \sum_s Y_{js} \cdot v_{js}$$

또한 (DCP)에서 (2)항의 $\sum_i \sum_s Y_{js} \cdot f_{js}$ 은 상수항 $\sum_j f_j$ 이 된다. 이 상수항을 제외하면 (DCP)는

다음과 같은 최소비용 네트워크 흐름문제 (minimum cost network flow problem : NFP)로 변환된다.

상기 모형들의 관계는 [그림 2]와 같다.



[그림 2] PSDP, DCP, NFP 간의 관계

2.2 해법 개요

(DCP)는 공장과 분배센터간의 분배단가와 분배센터와 배송센터간의 배송단가가 주어진 경우의 물류시스템 설계모형으로서, 많은 제약식과 변수로 구성되어 있는 대단히 복잡한 문제이다. 그런데 이러한 비용단가는 공급처-수요처간의 물동량에 따라 달라진다. 따라서 비용단가와 물동량은 상호 영향을 미치는 관계에 있다. 이 관계가 하나의 수리모형에 포함된 (PSDP)는 더욱 복잡한 문제가 된다. 따라서 본 연구에서는 이 복잡한 물류시스템 설계문제를 다음과 같이 해결한다.

우선 공장과 분배센터간의 선형화된 분배단가를 추정하는 비용모형(cost model)을 만든다. 이 비용모형에는 공장과 분배센터간의 수송비, 공장 및 분배센터의 주문처리비, 재고유지비가 포함된다. 공장과 분배센터간의 수송비 산정에는 차량의 적재용량, 주문량등이 반영되어야 한다.

그리고 분배센터의 출하규모에 따른 창고 개설유형을 여러가지로 구분하고, 분배센터의 투자 및 운영에 관련된 비용을 창고 출하규모가 클수록 고정비는 크게하고 변동비는 작게 설정함으로써,

참고 출하규모에 따른 분배센터 관련비용의 concave 함수관계를 piecewise linear 함수관계로 변환처리한다.

〈부록 1〉에서와 같이 비용추정모형을 이용하여 제반 비용단가를 추정하면, 원래의 물류시스템 설계문제(PDSP)는 분배센터 입지문제(DCP)로 단순화된다. 〈부록 2〉에서와 같이 분배센터 개설 유형을 결정하면, 분배센터입지문제(DCP)는 최소비용 네트워크 유통문제(minimum cost network flow problem : NFP)가 된다. 최소비용 네트워크 유통문제의 해를 구하기 위하여 본 연구에서는 Out-of-Kilter 알고리즘을 사용하지만, 이 방법외에 기 개발된 최적해법을 적용해도 무방하다.

그런데 비용단가는 입지문제의 결과에 따라 달라지게 된다. 따라서 본 연구에서는 비용모형과

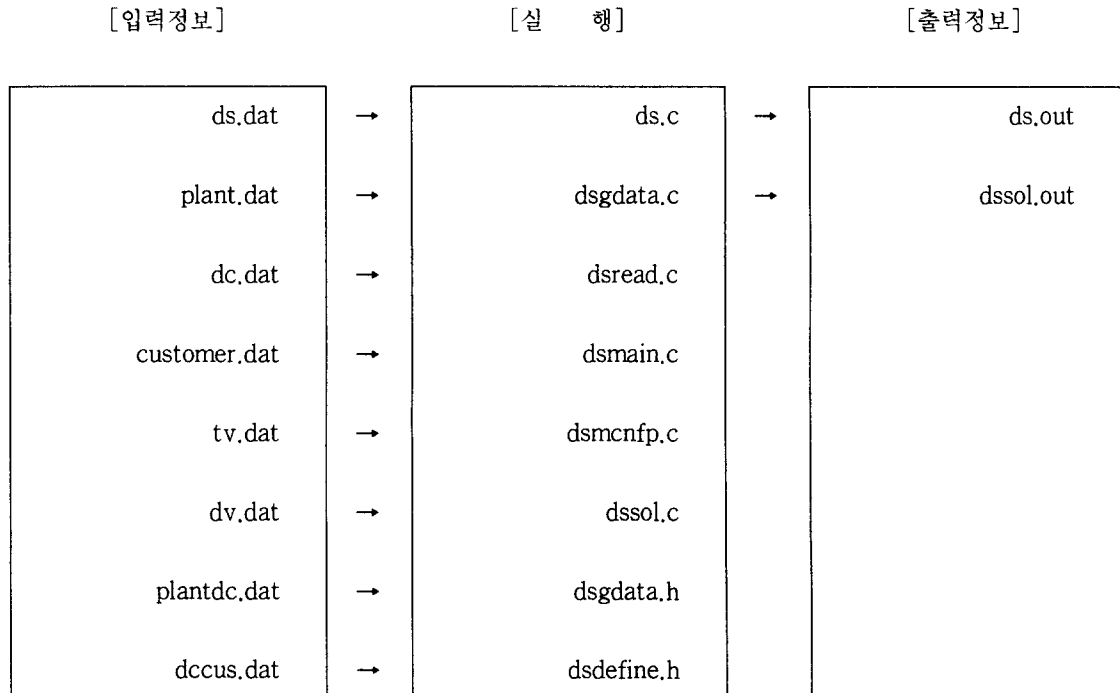
분배센터입지모형 두가지를 상호 연계시키는 절차를 거쳐 물류시스템 문제에 대한 해를 찾는 방법을 제시한다.

이와같은 방법을 택한이유는 실용성과 활용성을 염두에 둔 것으로, 이 연구의 결과가 초대형 컴퓨터를 보유하지 않은 산업체에서도 널리 활용될 수 있도록 함이다.

3. 패키지 구성

3.1 패키지 구조

이 패키지는 [그림 3]과 같이 8개의 소스화일과 8개의 입력화일 및 2의 출력화일로 구성되어 있다. 프로그램들은 C언어로 작성되어 있다.



[그림 3] 패키지 구조

3.2 주요 모듈

- 1) DS : 모든 소스화일들을 연결하는 중심 모듈
- 2) DSREAD : 입력화일들로 부터 자료를 읽는 모듈
- 3) DSMAIN : (PDSP)문제를 푸는 알고리즘 부분의 모듈
- 4) DCMCNFP : (NFP)문제를 푸는 알고리즘 부분의 모듈
- 5) DSSOL : 최적해를 출력하는 모듈

3.3 주요 화일 구조

1) 공장 정보화일

공장번호	공장코드	공장명칭	위치	생산능력
------	------	------	----	------

2) 물류센터 정보화일

물류센터번호	물류센터코드	물류센터명칭	위치	센터능력	
물류센터 유형 1		물류센터 유형 2		물류센터 유형 3	
고정비	변동비	고정비	변동비	고정비	변동비

3) 고객 정보화일

고객번호	고객코드	고객명칭	위치	수요량
------	------	------	----	-----

4) 거리 정보화일

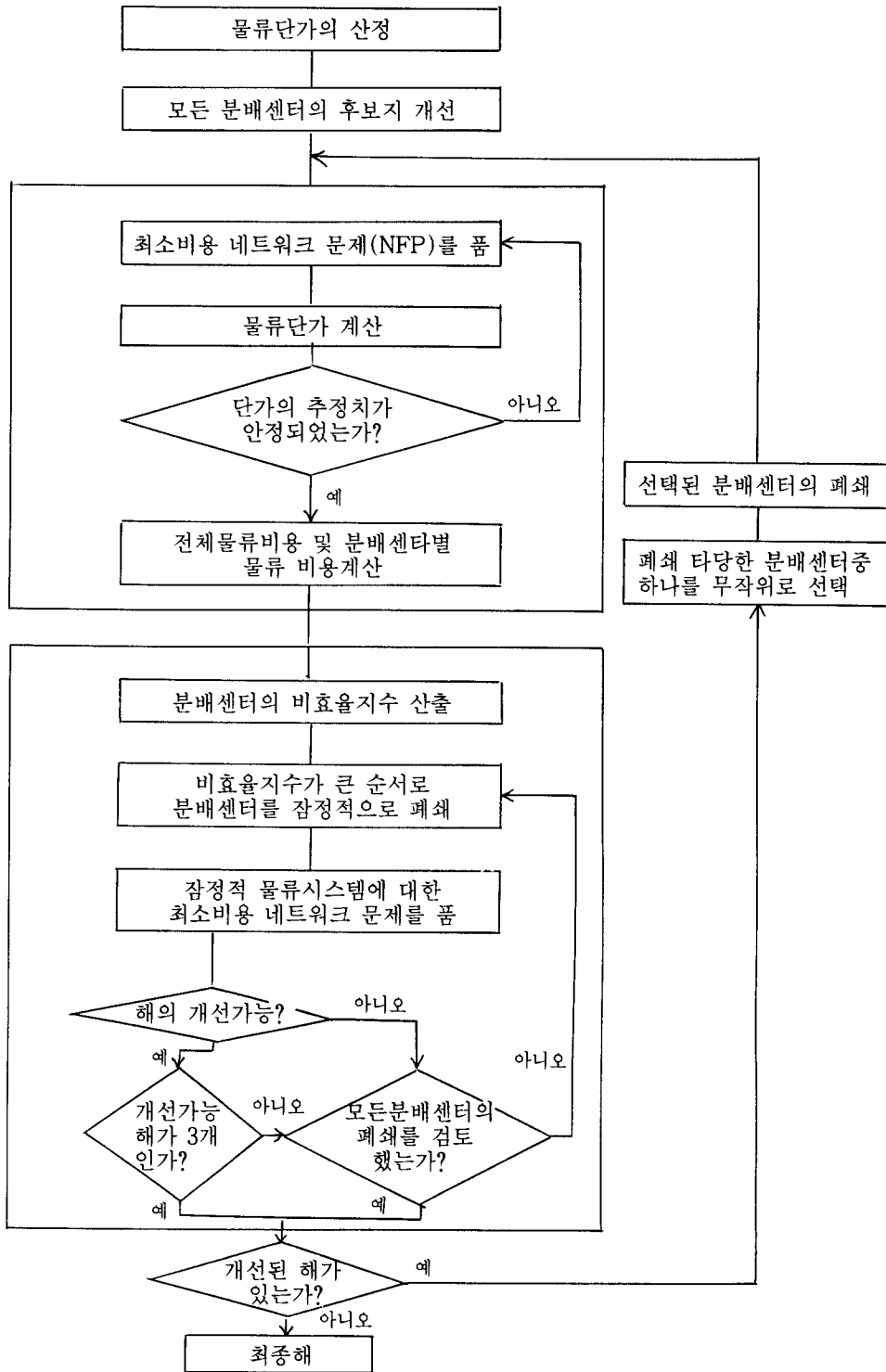
출발지 코드	도착지 코드	이동거리
--------	--------	------

5) 차량 정보화일

차량번호	차량코드	차종명칭	적재용량	고정비	변동비
------	------	------	------	-----	-----

3.4 해법절차

물류시스템 설계문제(PDSP)를 풀기 위한 해법절차는 [그림 4]와 같다. <부록>에는 비용계수 설정, 배센터의 개설유형 및 비효율지수에 관한 자세한 내용이 기술되어 있다.



[그림 4] PDSP 해법절차

4. 결 론

본 연구에서는 물류시스템 설계에 관련된 요인들의 복합적인 관계를 수리 모형(PDSP)를 통해 규명하였다. 그런데 비용단가는 입지문제의 결과에 따라 달라지게 된다. 따라서 본 연구에서는 비용모형과 분배센터입지모형 두가지를 상호 연계시키는 절차를 거쳐 물류시스템 문제에 대한 해를 찾는 방법을 개발하였다. 그리고 그 해법을 이용한 물류시스템 설계를 위한 의사결정용 패키지를 개발하였다.

최근들어 우리나라에서는 물류시스템을 재 정비함으로써 물류합리화를 통한 비용절감에 전력하고 있는 기업들이 늘어가고 있다. 본 연구에서 개발 제시된 해법과 패키지는 그러한 기업들에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

- 송성헌, “단 단계 분배관리 시스템에서 차량운행 비용을 고려한 분배센터의 입지선정문제”, *홍대경영연구*, 10, 157-165(1987).
- Aikens, C.H., “Facility Location Models for Distribution Planning”, *Euro. J. of Opnl. Res.*, 22, 263-279(1985)
- Aucamp, D.C., “Nonlinear Freight Costs in the EOQ Problem”, *Euro. J. of Opnl. Res.*, 9, 61-63(1982)
- Blumenfeld, D.E, L.D.Burns, J.D.Diltz, “Analyzing Trade-Offs Between Transportation, Inventory and Production Costs on Freight Networks”, *Transp. Res. -B*, 19B, 361-380(1985).
- Daganzo, C.F., “The Length of Tours in Zones of Different Shapes”, *Transp. Res. -B*, 18B, 135-145(1984a).
- Daganzo, C.F., “The Distance Traveled to Visit N Points with a Maximun of C Stops per Vehicle : An Analytic Model and an Application”, *Transp. Sci.*, 18, 331-350 (1984b).
- Daganzo, C.F. and G.F.Newell, “Configuration of Physical Distribution Networks”, *Networks* 19, 113-132(1986).
- Eilon, S., C.D.T. Watson-Gandy and N. Christofides, *Distribution Management : Mathematical Modelling and Practical Analysis*, Charles Griffin, London, 1971.
- Federgruen, A. and B.J.Lageweg, “Hierarchical Distribution Modelling with Routing Costs”, Report BW 17. *Mathematisch Centrum*, Amsterdam(1980).
- Krarup, J. and P. M. Pruzan, “The Impact of Distance on Location Problems”, *Eur. Jn. of Oper. Res.* 4, 256-269(1980).
- Laporte, G. and Y. Nobert, “An Exact Algorithm for Minimizing Routing and Operating Costs in Depot Location”, *Eur. Jn. of Oper. Res.* 12, 82-89 (1983).
- Mentzer, J. T. and A. D. Schuster, “Computer Modeling in Logistics : Existing Models and Future Outlook”, *J. of Business Logistics* 3, 1-55(1982).
- Perl, J. and M. S. Daskin, “A Warehouse Location-Routing Problem”, *Trans. Res. B* 19, 381-396 (1985).
- Perl, J. and S. Sirisoponilp, “Distribution Networks : Facility Location, Transport-

tation and Inventory”, Int. J. of Physical Distribution and Material Management 18, 18-26(1988).

Rand,G.K., “Methodological Choices in Depot Location Studies”, Opln. Res. Q. 27, 241-249(1976).

Webb,M.H.J., “Cost Functions in the Location of Depots for Multi-Delivery Journeys”, Opln.Res.Q. 19, 311-328 (1968).

〈부 록〉

1. 비용계수 설정 모형

물류시스템설계모형(PDSP)의 목적함수는 전체 물류비용의 합을 최소화하는 것이다. 즉 물류비용에는 수배송비용, 재고비용, 분배센터의 투자 및 운영에 관련된 고정비용 및 변동비용이 포함된다.

이러한 비용들은 다음과 같은 기호들로 표현된다.

Q_{ijm} : 차종 m이용시 분배센터 j에서 공장 i로의 주문량

A: 주문처리비

W_m : 차종 m의 차량적재용량

B_{ijm} : 공장 i와 분배센터 j간의 차종 m에 의한 차량당 운송비

HP_i : 공장 i에서의 단위 기간당 단위 재고유지비

HD_j : 분배센터 j에서의 단위 기간당 단위 재고유지비

X_{ijm} : 공장 i와 분배센터 j간의 차종 m에 의한 단위 기간당 수송량

(1) 공장과 분배센터간의 물류비용

공장 i에서 분배센터 j로 차종 m에 의해 제품을 수송함에 따라 수송비, 주문처리비, 재고유지비가 발생한다. 본 연구에서는 이러한 물류비용들을 총칭하여 공장과 분배센터간의 분배비용이라 칭한다. 각 비용항목은 다음과 같이 표현된다.

- 1) 수송비: $CT_{ijm} = B_{ijm} \cdot (X_{ijm}/Q_{ijm}) \cdot \lceil Q_{ijm}/W_m \rceil$
- 2) 주문처리비: $CO_{ijm} = A \cdot (X_{ijm}/Q_{ijm})$
- 3) 재고유지비: $CI_{ijm} = (HP_i + HD_j) \cdot (Q_{ijm}/2)$

그러면 단위 분배비용 C_{ijm} 은 아래와 같이 Q_{ijm} 과 X_{ijm} 의 함수로 표현된다.

$$C_{ijm} = (CT_{ijm} + CO_{ijm} + CI_{ijm}) / X_{ijm} \\ = B_{ijm} \cdot \lceil Q_{ijm}/W_m \rceil / Q_{ijm} + A / Q_{ijm} + (HP_i + HD_j) \cdot Q_{ijm} / (2 \cdot X_{ijm})$$

여기서 단위 분배비용은 수송량 X_{ijm} 이 주어질 경우, 주문량 크기 Q_{ijm} 에 따라 변한다. 경제적 주문량 Q_{ijm} 은 C_{ijm} 를 최소화하는 주문량이다. Aucamp(1982)이 제시한 절차를 따르면 차량적재 용량을 고려한 경제적 주문량을 쉽게 산출할 수 있다.

본 연구에서는 단위 분배비용 C_{ijm} 를 다음과 같이 추산한다.

1) C_{ijm} 의 초기값

처음에는 공장과 분배센터간의 수송량 X_{ijm} 를 알 수 없으므로, X_{ijm} 와 직접관련된 항을 무시하고, 주문량 크기를 $Q_{ijm} = W_m$ 으로 설정하여, 초기 C_{ijm} 값을 추산한다. 즉

$$C_{ijm} = B_{ijm}/W_m + A/W_m$$

2) C_{ijm} 의 수정값

수송량 X_{ijm} 값을 알게 되면, 경제적 주문량 크기 Q_{ijm}^* 도 알게 되어, C_{ijm} 은 아래와 같이 계산된다.

$$C_{ijm} = B_{ijm} \cdot [Q_{ijm}^*/W_m]/Q_{ijm}^* + A/Q_{ijm}^* + H \cdot Q_{ijm}^*/(2 \cdot X_{ijm})$$

(2) 분배센터와 배송센터간의 수배송비용

배송센터는 분배센터의 입장에서 보면 수요처가 된다. 분배센터에서 배송센터까지의 운송 주체를 자가운송 또는 위탁운송으로 구분할 수 있다. 자가운송이란 자신이 운송의 주체가 되어 자기보유차량이나 용차회사의 차량을 이용하여 수요처에 물품을 운송하는 것을 말한다. 위탁운송이란 화물회사 또는 외부의 운송전문회사가 운송의 책임을 지고 수요처에 물품을 운송하는 것을 말한다. 물품운송에는 기차, 선박, 비행기, 트럭등 다양한 운송수단이 활용된다. 그런데 단위 수배송비용은 운송주체에 따라서 달리 산정된다. 위탁운송의 경우 단위수배송 비용은 수송계약에 의해 결정된다. 순회배송이 가능한 자가운송의 경우는 Daganzo(1984a, b)의 공식을 이용하면 단위 수배송비용을 추정할 수 있다.

본 연구에서는 단위 수배송비용 d_{jkn} 을 전통적인 분배센터 입지문제에서와 같이 수배송량에 관계없이 상수로 간주한다.

2. 분배센터의 개설유형 설정모형

분배센터 j 에서의 기간당 출하량 TP_j 는 다음과

같다.

$$TP_j = \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M X_{ijm}$$

1) $TP_j > 0$ 인 경우

분배센터 j 가 개설된다. 분배센터 j 의 경제적 개설 유형 s^* 는 다음과 같이 결정된다.

$$s^* \leftarrow s \mid \min \{f_{js} + v_{js} \cdot TP_j\}, s=1, \dots, S$$

그러면 분배센터 j 의 개설유형 결정변수 Y_{js} 의 값은 다음과 같게 된다.

$$Y_{js}=1, s=s^* \text{에 대하여}$$

0, s^* 를 제외한 모든 s 에 대해서

그런데 분배센터 j 의 출하량 TP_j 를 계산하기 위해서는 그 분배센터가 먼저 개설되어 있어야 한다. 그래서 본 연구에서 제시하는 해법의 초기에는 모든 분배센터가 모두 유형 S 로 개설되도록 Y_{js} 값을 설정한다. 즉 Y_{js} 의 초기값은 다음과 같이 설정한다.

$$Y_{js}=1, s=S \text{에 대하여}$$

0, S 를 제외한 모든 s 에 대해서

2) $TP_j = 0$ 인 경우

분배센터 j 는 폐쇄된다. 이때 Y_{js} 의 값은 다음과 같이 설정한다.

$$Y_{js}=0, \text{ 모든 } s \text{에 대해서}$$

3. 분배센터의 비효율지수

분배센터 j 를 중심으로한 물류비용 TC_j 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 TC_j &= \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M C_{ijm} X_{ijm} \\
 &+ \sum_{s=1}^S Y_{js} (f_{js} + v_{js} TP_j) \\
 &+ \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N d_{jkn} Z_{jkn}
 \end{aligned}$$

분배센터 j 의 비효율지수 ω_j 는 다음과 같이 산출된다.

$$\omega_j = TC_j / TP_j$$

이 비효율지수는 분배센터 j 와 관련된 물류비용 TC_j 을 분배센터 j 에서의 물동량 TP_j 로 나눈 값으로, 분배센터 j 와 관련된 단위 물량당 물류비를 뜻한다. 이 지수가 큰 분배센터 후보지가 패쇄 검토 대상이 된다.