

입지선정 및 차량경로문제

A Combined Location and Vehicle Routing Problem

강 인선*
Kang, Inseon

Abstract

The cost and customer service level of a logistics system depend primarily on the system design of the physical supply system and physical distribution system. The study presents the mathematical model and a heuristic solution method of a combined location - vehicle routing problem(LVRP). In LVRP, the objective is to determine the number and location of the distribution centers, the allocation of customers to distribution centers, and the vehicle delivery routes, so as to minimize the logistics total cost and satisfy the customer.

*전주대학교 산업공학과 조교수

1. 서론

물류시스템 설계사항중 물류센터의 갯수, 규모 및 위치선정 그리고 차량경로선정은 물류코스트와 고객서비스 수준에 중요한 영향을 미친다. 입지선정(Location) 및 차량경로(Vehicle Routing)를 독립적으로 다루는 연구[1,9]보다, 물류센터 입지선정과 차량순회문제를 상호의존적으로 연계하여 고려할 경우 종전과 달리 훨씬 더 합리적이고, 효율적인 물류시스템을 운영할 수 있어 그 필요성이 더욱 증대되고 있다. 기업물류(Business Logistics)전략면에서 실제로 수요지에 제품을 공급할 경우 이익확대와 아울러 고객만족을 위한 적정 배송센터를 보유하여야 하며, 그 규모와 위치선정등에 대한 의사결정이 중요시되고 있다. 이는 제품배송의 리드타임단축을 통한 고객서비스 개선과 상품공급의 확대를 위한 서비스의 거점확보라는 두가지 차원에서 물류센터 기능과 역할에 대한 중요성이 부각되고 있기 때문이다.

본 연구에서 다루는 LVRP(Location - Vehicle Route Problem)문제는 특히 Perl[12], Laporte[7,8]에 의해 해법이 연구된 바 있다. LVRP의 관심은 물류센터 입지후보지와 수요지에서 전체 물류비용을 최소화하도록 물류센터의 입지선정, 생산거점과 물류센터 그리고 물류센터에서 수요지사이의 차량경로를 구하는 문제이다. 본 연구는 물류센터 입지선정문제와 차량경로문제를 결합한 통합된 관점에서 동시에 다룬 발견적 알고리즘을 제시한다. 물류센터의 입지선정과 차량순회경로는 상호 의존적인 관계를 가지게 되므로 2 가지 요소가 동시에 다루어져야 최적물류센터 입지선정의 타당성을 높일 수 있다. 주요 관심사항은 물류센터를 어느 위치에 설정할 것이며, 개설된 물류센터에서 여러 곳에 분포된 수요지의 주문량을 충족시키기 위한 최적 차량경로분석으로서 의사결정은 다음과 같이 2 가지가 있다.

- (1) 개설 물류센터의 갯수 및 위치선정
- (2) 물류센터와 수요지사이의 차량경로의 설정.

2. LVRP 개요

물류구조상 LVRP모델을 살펴보면 Fig. 1 과 같이 나타낼 수 있다. 기업물류활동상 수송통합(Transportation Consolidation)를 살펴보면 조달물류(Physical Supply System)부문에서는 원자재 공급처(Supplier)에서 창고(Warehouse)간의 차량운행형태는 LTL(Less-than Truckload)이며 창고에서 생산거점(Factory)간은 TL(Truck Load)이다. 그리고 판매물류(Physical Distribution System)부문에서는 생산거점(Factory)에서 물류

센터사이는 대형 컨테이너 트럭과 같은 TL(Truck Load) 또는 CL(Car Loads)로 대량일괄 수송이 대개 이루어지고 있다. 물류센터에서 수요지(Market)사이의 운행형태는 주로 소 단위 화물인 LTL(Less-than Truck Load)로서 개별소량화물로 여러곳의 수요지를 순회방 문이 이루어지고 있다. 이러한 수송정책의 유형은 Geoffrion[5]의 의견에서 이를 뒷받 침 해주고 있다. 즉 물류센터와 수요지사이에 발생하는 마일(Mile)당 수송비용이 생산 거점에서 물류센터간을 운행하는 것보다 10배이상 높은 비용이 발생함을 지적한 바 있 다. 따라서 입지선정모델의 경우 수송비에 대한 정확한 산출이 중요하게 대두되며, 이 를 통해 물류비용절감을 위한 개선방안이 명백하게 세워질 수 있다.

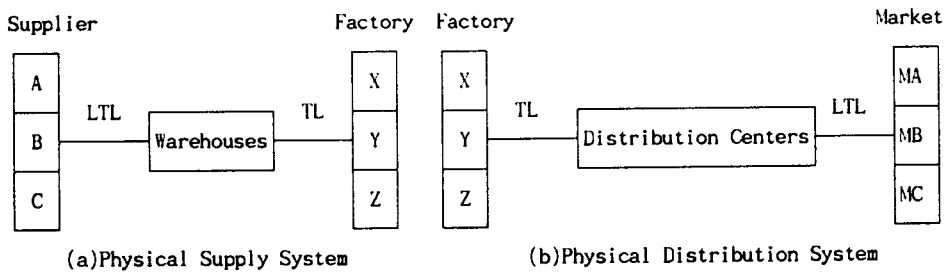


Fig. 1 Logistics System (Transportation Consolidation)

입지-경로문제(Location-Vehicle Routing Problems :LVRP)의 유형은 Fig. 2 에 제시한 바와 같이 여러 형태로 분류될 수 있다. LVRP의 특징은 (1)물류센터 입지선정의 결정은 적어도 1단계(Layer)가 이루어져야 한다. 그렇지 않은 경우 순수차량경로문제가 된다. (2)차량순회방문은 적어도 한 번 이상 발생하여야 한다. 그렇지 않은 경우 순수물류센터 입지문제가 된다. Perl은 LVRP를 MIP로 수 리적 모형화를 한후 이를 순차적(Sequential)방법으로 해를 전개하였으며, Laporte[7]는 ILP(Interger linear programming)모형을 근간으로 Exact algorithm으로 주로 접근하였다. 대부분 LVRP를 MIP(Mixed Integer Programming)로 모형화할 경우 계산량(Time Complexity)이 NP 컴플리트 (Complete)이기 때문에 해결할 수 있는 문제의 크기가 매우 제한된 특수한 경우 에 한하여 다루어져 왔다.

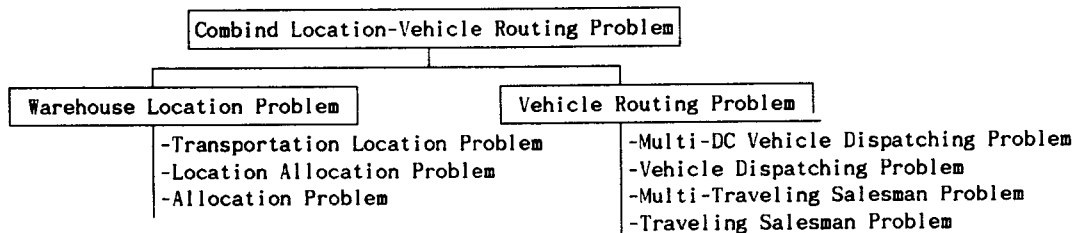


Fig. 2 Classification of LVRP

3. LVRP 응용사례

LVRP 응용분야에 대하여 수행된 몇가지 사례는 다음과 같다.(Table 2 참조)

(1) Burnes와 White[2]는 외판원 위치선정문제와 관련하여 LVRP문제를 다루 었다. 해의 영역은 연속적이며, 주어진 순회경로에 따라 방문할 수요지의 집합 은 균일하게 분포되었을 경우 n개의 수요지를 경유하는 외판원 순회방문방식으 로 새로운 서비스센터가 설정되며, 입지선정문제 안에 TSP(Traveling Salesman Problem)가 서브프로그램으로 활용하였다.

(2) Jacobsen과 Madsen[6]은 2 단계 유통구조를 갖는 발견적 기법을 제시하였 는데 이는 신문사 물류시스템의 설계를 다루었다. TTH(Tree-Tour Heuristic) 라고 명명된 경로구축 방법과 Copper[4]의 ALA(Alternate Location

Allocation) 그리고 Clarke와 Wright [3]의 Savings Method(SAV)을 결합한 발견적 방법을 접근하여 그리고 최종적으로 SAV-DROP절차를 활용하였다.

(3)Or와 Pierskalla[11]는 혈액을 병원에 수송하기 위하여 경로상에 차량을 보내는 혈액은행(Blood Banks)의 위치설정을 위한 수송입지및 할당 모델 (Transportation Location-Allocation)을 모형화하였으며 혈액은행의 위치는 이미 정해진 상태로 가정함으로써 혈액은행의 입지선정문제는 다루지 않았다.

(4)Nambiar et al[10]은 말레이시아의 천연고무재배농가의 사례문제를 다루었으며, 차량이 고무재배농가를 순회하면서 고무원료를 수집하여 지정된 집하소에서 일괄 보관한후 이를 고무제조공장에 보내는 고무원료 수송시스템으로서 배정(Allocation)과정은 고려하지 않았다.

(5)Perl[12]은 통합된 관점에서 창고입지설정및 차량순회문제를 제시하였다. 그의 연구는 해법이 순차적 접근방법으로는 첫 시도이며, 물류센터의 입지선정과 차량경로간의 상호 의존성을 강조하였다. 즉 물류센터입지문제의 3 가지 기본 구성요소인 입지선정(Location), 수요지배정(Allocation), 그리고 차량경로(Routing)를 일괄된 관점에서 다루었다. 그리고 LVRP문제를 MIP로 모형화하여 해의 절차를 제시하였다.

Table 2 LVRP Applications

Application	Layer			References
	1	2	3	
Blood Banks (Chicago)	Blood Bank(3)*	Hospitals (17)		Or & Pierskalla [11]
Newspaper Delivery (Denmark)	Printing Plants (21)	Transfer Points * (37)	Retailers	Jacobsen & Madsen[6]
Rubber Collection (Malaysia)	Factories (8) *	Collection Stations (50)	Small Holders (3750)	Nambiar et al. [10]
Distribution of Customer Goods	Factories	DC * (4)	Customers	Perl & Daskin [12]

Note : 1) * indicates locational decision.
2) Layers () is number of sites.

4. LVRP 수학적모형

물류센터의 입지선정및 차량경로문제에 대한 수리적모형은 다음과 같으며 Perl[12], Or & Pierskalla[11]이 제시한 것과 유사하다. 본 모형은 물류거점에서 수요지의 경우만 고려하였다.

< 기호 설명 >

- i = 물류센터(DC)
- j = 수요지
- k = 물류경로

- I = 물류센터 노드 집합
- J = 수요지 노드 집합
- K = 차량경로 집합

- m : 차량경로의 최대 허용수: k
- C : 거리 매트릭스: $(c_{ij}) (i, j \in I \cup J)$
- T : 모든 수요지와 물류센터사이의 운행시간: $(t_{ij}) (i, j \in I \cup J)$
- f_i : 물류센터 i의 고정비 ($i \in I$)

- v_i : 물류센터 i 의 통과물류량 1단위당 변동비 ($i \in I$)
- V_i : 물류센터 i 의 연간 통과물류량 능력의 최소한도치와 최대한도치
- s_{1i} : 생산거점 1에서 물류센터 i 까지의 제품 단위수송비 ($1 \in L, i \in I$)
- d_j : 수요지 j 의 주문량 ($j \in J$)
- u_j : 수요지 j 에 제품을 하역하는데 소요되는 시간 ($j \in J$)
- D_k : 차량경로 k 의 최대적재용량
- E_k : 경로 k 의 최대허용 운행거리
- T_k : 경로 k 의 최대허용 운행시간

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{물류센터 } i \text{가 경로 } k \text{상에서 수요지 } j \text{와 연결된 경우.} \\ 0 & \text{그렇지 않은 경우.} \end{cases} \quad (i, j \in I \cup J, k \in K)$$

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{물류센터 } i \text{가 개설된 경우 (} i \in I \text{).} \\ 0 & \text{그렇지 않은 경우.} \end{cases}$$

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{수요지 } j \text{가 물류센터 } i \text{로부터 서비스를 받는 경우.} \\ 0 & \text{그렇지 않은 경우.} \end{cases} \quad (i \in I, j \in J)$$

$$\text{Min} \quad \sum_{i \in I} f_i y_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} v_i d_j z_{ij} + \sum_{k \in K} \sum_{i \in I \cup J} \sum_{j \in I \cup J} c_{ij} x_{ijk}$$

$$\text{s. t} \quad \sum_{k \in K} \sum_{i \in I \cup J} x_{ijk} = 1 \quad (j \in J) \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} d_j \sum_{i \in I \cup J} x_{ijk} \leq D_k \quad (k \in K) \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I \cup J} \sum_{j \in I \cup J} c_{ij} x_{ijk} \leq E_k \quad (k \in K) \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I \cup J} \sum_{j \in I \cup J} t_{ij} x_{ijk} + \sum_{j \in J} u_j \sum_{i \in I \cup J} x_{ijk} \leq T_k \quad (k \in K) \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in S} \sum_{j \in (I \cup J) - S} x_{ijk} \geq 1 \quad (2 \leq S \leq I \cup J; S \leq I \cup J; S \cap J \neq \emptyset) \quad (5)$$

$$\sum_{j \in I \cup J} x_{ijk} - \sum_{j \in I \cup J} x_{jik} = 0 \quad (k \in K, i \in I \cup J) \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijk} \leq 1 \quad (k \in K) \quad (7)$$

$$-z_{ij} + \sum_{p \in I \cup J} (x_{ipk} + x_{pjk}) \leq 1 \quad (i \in I, j \in J, k \in K) \quad (8)$$

$$x_{ijk} = 0, 1 \quad (i \in I \cup J, j \in I \cup J, k \in K)$$

$$y_i = 0, 1 \quad (i \in I)$$

$$z_{ij} = 0, 1 \quad (i \in I, j \in J)$$

(가) 목적함수식은 물류센터의 고정비와 변동비, 물류센터에서 수요지간의 물류비 등의 연간비용으로 구성되며, 이들의 합을 최소화한다.

(나) 제약식 (1)은 차량서비스의 제한으로 각 수요지에서 단일차량에 의하여 제품을 공급한다.

(다) 제약식 (2), (3), 및 (4)는 차량의 적재용량, 최대허용 운행거리, 최대허용 운행시간을 제한한 것을 표시한다. 여기서 제약식 (2)는 차량적재용량이 동일하다고 가정할 경우 즉 $D_k = D$ 이면 (8)식으로 표시할 수 있다.

$$\alpha_i - \alpha_j + D \sum_{k \in K} x_{ijk} \leq D - d_j \quad \forall i, j \in H, i \neq j \quad (9)$$

(라) 제약식 (5)는 경로의 연결성규칙에 따라 모든 수요지는 경로상에서 물류센터와 연결됨을 표시한다.

(마) 제약식 (6)은 차량이 물류센터 또는 수요지를 방문할 경우, 그 다음의 경로는 반드시 방문한 곳에서 나와야 됨을 표시하는 경로의 연속성을 의미한다.

(바) 제약식 (7)은 차량이 단 한번만 물류센터를 출발함을 나타내는 것으로 이 경우 차량이 여러 수요지에 서비스하면서 2군데 이상의 물류센터로 방문하는 것을 방지하기 위함이다.

(사) 제약식 (8)은 의사결정변수 $x_{i,j,k}$, y_i , $z_{i,j}$ 로 0 또는 1의 값을 가짐을 나타내는 정수조건이다.

제시된 최적해 모형은 1차 수송이 주어진 상태로 모형화하였으며, 제약식 (2) 대신 (11)식을 사용하였다. 위 문제는 NP-complete의 유형에 속하며, 문제의 규모가 커짐에 따라 계산량(Complexity)이 다항식(Polynomial)으로 커진다. 이와같이 이 문제는 기존의 MIP모형으로 해결할 수 없으므로 해를 구하기 위한 효율적인 발견적 알고리즘의 개발이 필요시되고 있다. 한편 Perl[12] 테스트 문제를 MIP로 모형화하여 이를 CDC Cyber 980/31에 내장된 APEXIV MIP 소프트웨어 패키지과 Hyper Lindo/PC를 사용하여 최적해를 구하였다. 그 결과 CPU시간이 CDC Cyber에서는 1000초 이상 소요되었으며, 이를 Hyper Lindo에 적용할 경우 6시간이상이 소요되어 MIP로 실제 물류시스템문제에 접근시키기에는 상당히 어렵다는 것을 시사하고 있다.

5. 휴리스틱 알고리즘 전개

본 연구에서 제안한 휴리스틱 알고리즘의 주요 가정은 다음과 같다. (1) 모든 물류센터 후보지와 수요지에 대한 갯수 및 위치는 확정적이다. (2) 수요지점이 요구하는 주문량은 확정적이다. (3) 각 차량은 단 하나의 경로에만 배정된다. (4) 모든 물류차량은 반드시 배정된 물류센터에서 출발하여 각 수요지를 순회 방문한 후 출발지로 귀환한다. 상기 가정을 토대로 하여 사용한 기호를 정의하면 다음과 같다.

기호 설명

G_1	: 수요지의 집합
G_2	: 물류센터 후보지의 집합
K^r	: 물류센터 r과 연결된 수요지의 집합
K_1	: 배정된 수요지의 집합
K_2	: 미배정된 수요지의 집합
R_1	: 개설된 물류센터의 집합
R_2	: 폐쇄된 물류센터의 집합
$C_{i,j}$: 수요지 또는 물류센터 사이의 운행비용
C_i^r	: 물류센터 r에서 수요지 i간의 운행비용
$S_{i,j}^r$: 물류센터 r이 수요지 i, j와 연결됨에 따른 절약비용
$PR_{i,r}$: 물류센터 r에 대한 수요지 i의 양을 갖는 절약 빈도수
q_i	: 수요지 i의 주문량
MAXCAPA	: 물류차량적재용량
Q_k	: 차량 k의 총적재량
TDC	: 전체물류비용
$STOT^r$: 물류센터 r의 물류코스트
TR^r	: 물류센터 r의 물류비용
F^r	: 물류센터 r의 고정비
$OP_{i,j}^r$: 구간 i, j에 대한 기회부담금
$MOP_{i,r}^r$: 물류센터 r에 대하여 수요지 i에 대한 최대기회부담금
$d_{i,r}^r$: 폐쇄된 물류센터 r에 대한 부담금

본 알고리즘은 초기에 물류센터 후보지를 전부 개설하여 단계적으로 기여도가 적은 물류센터를 하나씩 차례로 폐쇄시켜 나간다. 반복 수행하는 과정에서 요구하는 물류센터의 수에 도달할 경우 알고리즘 절차는 끝난다. 제안된 알고리즘은 기존의 SAV-DROP를 확장한 것으로 다음과 같은 점에서 차이점을 두고 있다. (1) 물류센터의 최대출하능력을 고려하여 수요지를 배정하며, (2) 수요지 차량배정 방법은 수요지간의 인접성을 우선적으로 고려하였으며, (3) 차량순회 방식은 최대절약경로 알고리즘을 적용하였다.

순서 1 : 초기조건설정

$$1) K_1 = \{ \emptyset \} \quad K_2 = \{ G_1 \}$$

$$R_1 = \{ G_2 \} \quad R_2 = \{ \emptyset \}$$

$$2) d_{i,j} = ((X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2)^{0.5}$$

순서 2 : 절약비용의 계산

- 1) $C_i = \min_r C_i - s(C_i^r - \min_r C_i) \quad s, r \in R_1$
- 2) $S_{i,j} = C_i + C_j - C_{i,j}^r$
- 3) $r \in R_1$ 에 대한 Quick Sort

순서 3 : 물류센터별 수요지배정

- 1) $\max(S_{i,j}) \quad (i, j \in K_2, r \in R_1) \{ r' : \text{물류센터 } r \text{과 연결된 } i, j \text{의 수요지} \}$
- 2) $P_{i,r'} = \max(P_{i,r})$
- 3) $K_2 = K_2 - \{ i \}$
 $K^{r'} = K^{r'} \cup \{ i \}$

순서 4 : $r \in R_1$ 에 대한 물류처리능력 체크

순서 5 : 차량별 수요지 배정 및 물류경로의 설정

- 1) $S_{i,j} = \max(S_{i,j}) \quad r \in R_1$
- 2) 차량적재용량을 체크
 - (1) $\sum_{i \in K^{r'}} q_i$
 - (2) 소요트럭의 총댓수 결정

$$\frac{\sum_{i \in K^{r'}} q_i}{S_1} \quad (X^1 : X \text{보다 적지 않은 최소의 정수})$$

$$Q_k = q_i + q_j$$
 - (3) $\text{MAXCAPA} \geq Q_k$ 면 계속, 그렇지 않으면 조건식을 만족하는 다른 가용차량에 배정
- 3) 최대 절약경로(Maximum Savings Path) 알고리즘을 이용한다

순서 6 : 전체비용 산정

- 1) $\text{STOT}^r = F^r + V^r + \text{TR}^r \quad r \in R_1$
- 2) $\text{TDC} = \sum_{r \in R_1} \text{STOT}^r$

순서 7 : 기회부담금 산정

- 1) $S_{i,j}^* = \max(S_{i,j}) \quad r \in R_1$
 $S'_{i,j} = \max(S_{i,j}) \quad r \in R_1 - \{r^*\}$
- 2) $\text{OP}_{i,j} = S_{i,j}^* - S'_{i,j}$
- 3) $\bar{F}_{i,m} = \max(\text{OP}_{i,j})$

순서 8 : 폐쇄될 물류센터의 선정

- 1) $d_p^r = \sum_{i \in G_1} \text{MOP}_{i,m}^r - F^r, \quad r \in R_1$
- 2) $d_p^{r^*} = \text{Min}(d_p^r)$
 $R_1 = R_1 - \{r^*\} \quad R_2 = R_2 \cup \{r^*\}$
- 3) 적정 물류센터의 수가 개설될 때까지 경로순회 수정 및 물류센터 폐쇄과정을 순서 2 반복

6. 수치사례

제시된 휴리스틱 알고리즘의 유연성평가를 하기 위하여 본 수치사례는 Per1[12]의 테스트문제를 사용하였다. 이 해법을 평가하기 위하여 Per1의 문제인 경우에는 이 해법의 결과치와는 1.4%의 차이를 보였으며, 이 해는 MIP에 의해 구한 최적치 결과와 동일한 값이다. 한편 본 알고리즘에 대한 전산프로그램의 CPU시간과 비교할 경우 Per1의 테스트문제는 0.44초가 소요되므로서, 본 알고리즘의 효율성을 보여주고있다. (Fig. 3 참조)

(1) 1단계 경로

건설센터	차량번호	경로(Route)	적재량(Unit)(A)	운송거리(km)(B)	물류활동량(A)*(B)	물류비용(0.75/Km)
DC ₁	# 1	7-2-1-6-8-9-12	140	49	6860	36.8
DC ₂	# 2	10-11-5-3-4	100	44	4400	33.0
합 계			240	93	13720	69.8(C)

(가) 고정비 (D)
 물류센터 DC₁ = 100
 물류센터 DC₂ = 100
 소계 = 200

(나) 차량보유비 (E)
 차량 #1 : 0.74*7*20=103.6
 차량 #2 : 0.74*5*20= 74.0
 소계=177.6

(다) 합계 (C)+(D)+(E)=447.4

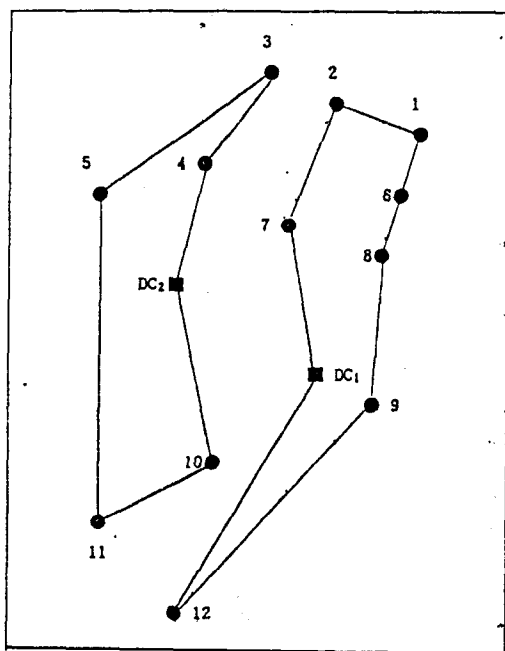
(2) 2단계 경로

건설센터	차량번호	경로(Route)	적재량(Unit)(A)	운송거리(km)(B)	물류활동량(A)*(B)	물류비용(0.75/Km)
DC ₁	# 1	5-4-3-2-1-6-8	140	57	7980	43
	# 2	12-11-10-7-9	100	54	5400	41
합 계			240	111	13380	84(A)

(가) 고정비 (B)
 물류센터(DC₁) : 100

(나) 변동비 (C)
 차량 #1 : 0.74 * 7 * 20 = 103.6
 차량 #2 : 0.74 * 5 * 20 = 74.0
 소계 = 177.6

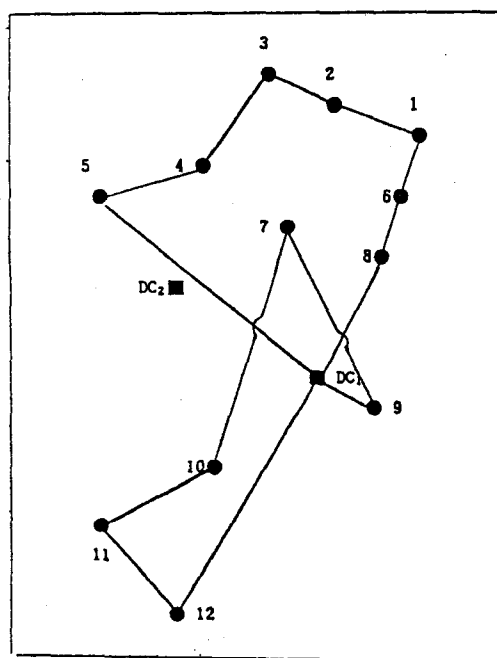
(다) 합계 (A) + (B) + (C) = 361.1



<Legend>

- : Distribution Center(DC)
- : Customer

(a) First approach



<Legend>

- : Distribution Center(DC)
- : Customer

(b) Second approach

Fig. 3 Solution to the Test Problem

7. 결론

제조업의 물류비용의 규모는 업종별로 다소 차이가 있으나 매출액 대비 약 20%를 점유할만큼 매년 증가 추세에 있다. 미국 산업체의 경우 1990년 산출된물류비용이 GNP의 약 11%를 상회한바 있으며 물류비용요소중 수송비가 3520억\$ 지출을 추정하였으며, 유통단계중 수송비가 전체물류비의 59%를 차지하고 있음을 보고된 바 있다. 이와같이 수.배송시스템의 합리화와 관련하여 LVRP(입지선정 및 차량경로문제)는 조달 및 판매물류시스템 설계상에서 물류비용절감과 고객서비스수준과 관련된 의사결정과정에서 중요한 안건으로 제시될 수 있다. 본 연구는 LVRP의 구조적면을 살펴보고 수리적 모형화를 제시하였다. 그리고 LVRP에 대한 휴리스틱 해법을 통하여 MIP모형에 의한 접근법과 비교하여 처리시간면에서 유연성이 있음을 보였다. 실제 물류문제는 여러가지 환경변화에 무리없이 대응할 수 있는 시스템의 유연성이 매우 중요하므로 이에 대한 연구가 앞으로 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Bodin, L., Golden, B., Assad, A. and Ball, M., "Routing and Scheduling of Vehicles and Crews", *Computers & Operations Research*, Vol.10, No.2, pp.68-211, 1983.
2. Burness, R. C. and White, J. A., "The Traveling Salesman Location Problem", *Transportation Science*, Vol.10, No.4, pp.348-360, 1976.
3. Clarke, G. and Wright, J. W., "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points", *Operations Research*, Vol.12, No.4, pp.568-581, 1964.
4. Copper, L., "Location/Allocation Problem", *Operations Research*, Vol.11, No.3, pp.331-343, 1963.
5. Geoffrion, A. M. and Graves, G. W., "Multicommodity Distribution Design by Bender's Decomposition", *Management Science*, Vol.20, No.15, pp.822-844, 1978.
6. Jacobsen, S. H. and Madsen, O. B. G., "A Comparative Study of Heuristics for a Two-Level Routing-Location Problem", *European Journal of Operational Research*, Vol.5, No.6, pp.378-387, 1980.
7. Laporte, G. and Nobert, Y., "An Exact Algorithm for Minimizing Routing and Operating Costs in Depots Location", *European Journal of Operational Research*, Vol.6, No.2, pp.224-226, 1981.
8. Laporte, G., Nobert, Y. and Arpin, D., "An Exact Algorithm for Solving a Capacitated Location - Routing Problem", *Annals of Operations Research*, No.1-4, Vol.6, pp.293-310, 1986.
9. McGinnis, L. E., "A Survey of Recent Results for a Class of Facilities Location Problem", *AIIE Transactions*, Vol.9, No.1, pp.11-18, 1977.
10. Nambiar, J. M., Gelders, L.F. and Van Wassenhove, L. N., "A large Scale Location-Allocation Problem in the Natural Rubber Industry", *European Journal of Operational Research*, Vol.6, No.2, pp.183-189, 1981.
11. Or, I. and Pierskalla, W.P., "A Transportation Location-Allocation Model for Regional Blood Banking", *AIIE Transaction*, Vol.11, No.2, pp.86-95, 1979.
12. Perl, J. and Daskin, M. S., "A Warehouse Location - Routing Problem", *Transportation Research B*, Vol.19, No.5, pp.381-396, 1985.