

# 고객 제한조건이 있는 복수 차량유형의 차량할당 및 경로선정에 관한 연구

이상현<sup>†</sup> · 이정만

국방대학교 운영분석학과

## Study on the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Customer Restriction

Sang-Heon Lee · Jung-Man Lee

Department of Operations Research, Korea National Defense University, Seoul, 122-875

In this paper, we propose a new conceptual HVRPCR(Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Customer Restriction) model including additional restrictions that are consisted of loadage limit and possible visit number of demand post in HVRP. We propose HVRPCR algorithm using the heuristic in order to solve speedily because VRP is NP-Hard and need many solution time. The proposed model is simulated with changing demand post location, demand weight, loading and possible visit number limitation. Results of the computational experiment are provided along with some analysis like travel cost reduction rate.

**Keywords:** heterogeneous vehicle routing problem, customer restriction, sweeping, variable cost

### 1. 서론

오늘날 물류가 차지하는 관심과 비중은 생산의 중요성을 넘어 기업 경쟁력의 척도가 되고 있고 기업의 가치 창출을 높일 수 있는 분야로 인식되면서 물류비 절감에 더욱 많은 노력이 기울여지고 있다. 특히 2001년 기준 국내 총 물류비의 약 66.7%를 수송비가 차지하고 있고, 이중 도로수송비가 전체 수송비의 90% 이상을 차지하고 있어 이를 낮추기 위한 방법들이 제시되고 있다(Ha *et al.*, 2003).

이러한 상황에서 제품을 수송하는 운송회사의 관점에서는 개별 고객들의 수요를 모두 충족시키면서 전체 운송비용을 최소화하고자 함을 목표로 하는데, 이러한 것을 수리적으로 다룬 문제가 차량경로문제(VRP; Vehicle Routing Problem)이다. 이 분야의 연구는 Dantzig and Ramser(1959)에 의해 처음 제기된 후 차량의 유형, 이동시간의 변화 여부, 배송센터의 수, 수거 및 배송의 분리 여부 등에 의해 다양한 형태의 문제들이 정의되고 연구되어 왔다.

본 연구에서는 차량경로문제의 여러 가지 변형 중 복수 차량유형을 사용하는 HVRP(Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem)에 대해서 다루고자 한다. HVRP는 용량이 다른 차량들이 각기 다른 운송비용(고정비, 변동비 포함)이 발생한다고 가정하여 총 운송비용을 최소화하는 최적의 차량조합을 구하는 문제이다(Choi *et al.*, 2002). 지금까지 단일종류의 차량경로 문제는 그 해법에서 실질적으로 많은 발전이 이루어져 왔지만 HVRP는 문제 해결방법이 단일종류의 차량경로 문제보다 상대적으로 난해하여 활발한 연구가 진행되지 못하고 있는 실정이다(Tailard, 1996).

따라서 그동안 HVRP는 주로 복수 차량유형의 고전적인 문제에 대한 최적해를 산출하기 위해 보다 나은 해법을 찾는 연구(Choi *et al.*, 2002; Gendreau *et al.*, 1999; Wassan and Osman, 2002)가 주류를 이루어 왔고, 그 변형으로 고객의 방문시간 제한(Liu and Shen, 1999), 배송센터 보유 복수유형 차량의 차량대수 제한(Tailard, 1996) 등 매우 한정된 분야에서만 연구가 수행되었다.

<sup>†</sup> 연락저자 : 이상현 교수, 122-875 서울시 은평구 수색동 205번지 국방대학교 운영분석학과, Fax : 02-309-6233, E-mail : leesangh@kndu.ac.kr  
2005년 2월 접수; 2005년 7월 수정본 접수; 2005년 7월 게재 확정.

본 논문에서는 이러한 HVRP에 운송시장의 제도적 문제에 따른 적재한계 제한과 특정 차량이 일일 운행 가능 능력을 초과하는 경로를 형성하지 않도록 방문가능 고객 수 제한이라는 제약사항을 추가하여 운송비용을 최소화하는 차량조합을 산출하는 복수 차량유형의 차량경로 모형(HVRPCR: HVRP with Customer Restriction)을 제시하고 차량배차계획을 신속히 수립할 수 있는 발견적 기법의 HVRPCR 알고리즘을 제시한다. 또한, 복수유형의 차량은 단일유형과 비교하여 차량경로를 선정하는 과정에서 여러 차종을 융통성 있게 사용할 수 있고 차량 용량이 큰 경우 많은 물건을 적재할 수 있는 장점이 있는 반면 용량이 큰 차량은 운행비용이 많이 소요되는 문제가 있어 고정비와 변동비의 효율에 따라 복수 차량유형의 실질적 효율성과 효과분석이 요구되지만 이에 대한 연구는 매우 미비한 실정이다. 따라서 고객위치와 수요량의 크기, 차량별 적재한계와 방문 가능 고객수 제한 등의 모수 변화에 따른 시뮬레이션을 수행하여 단일유형 대비 복수유형 차량의 효과를 분석한다.

## 2. 기존 연구 고찰

### 2.1 차량경로문제(VRP)

차량경로문제는 최근 고객의 서비스 요구수준 향상과 실질적인 문제 적용이라는 차원에서 사용되는 차량의 유형, 고객 방문 가능 시간, 차량운행 가능 시간, 배송센터의 수, 수거 및 배송의 분리 여부 등 여러 제약사항을 고려한 다양한 형태의 차량경로문제에 대하여 연구가 활발히 진행되고 있다.

그 예로 VRPTW(Vehicle Routing Problem with Time Window)는 고객의 배달요구 시간에 대한 제약조건을 추가한 형태의 문제이고(Malandraki and Dial, 1996), VRPMT (Multi Trip Vehicle Routing Problem)는 차량의 운행시간 제약범위 내에서 배송센터에 대한 다회 방문이 허용되는 형태를 제시하고 있다(Fagerholt, 1999). 또한, 고객지점에서 수거와 배송이 동시에 발생하는 PDP(Pick up Delivery Problem) 문제(Mosheiov, 1998), 배송센터가 복수인 multi depot 차량경로문제(Robert, 1995), 운행주기를 고려한 service cycle 문제(Kim and Kim, 1999) 등 다양한 형태로 발전되어 왔다.

### 2.2 복수유형 차량경로문제(HVRP)

본 연구에서 다루는 HVRP는 최초 Golden *et al.*(1984)에 의하여 HVRP의 초기 문제인 VFSMP(Vehicle Fleet Size and Mix Problem)가 제시되었는데, 이는 HVRP의 특수한 형태로 모든 차량에 상관없이 변동비가 동일한 특징을 갖고 있다. 이후 Gendreau *et al.*(1999)은 HVRP에 타부서치를 적용한 발견적 해법을 제시하였다. 여기서 타부서치 알고리즘은 TSP(Traveling

Salesman Problem)를 풀기 위해 고안된 GENIUS(Generalized Insertion Unstringing and Stringing) 삽입기법을 기반으로 랜덤하게 고객들을 경로 간에 이동시킨 후 경로 내 지점 방문순서를 GENIUS 삽입기법을 이용하여 개선시키는 절차를 반복해서 수행한다.

이 외에도, Choi *et al.*(2002)은 HVRP 정수계획 모형을 제시하여 정수해를 위해 열생성기법(column generation)과 분지한계법(branch-and-bound)을 적용한 알고리즘을 제시하였고, Wassan and Osman(2002)은 HVRP에서 보다 나은 해를 도출하기 위해 이웃해 생성방법을 개량하여 타부서치를 변형시킨 알고리즘을 제안하였다.

HVRP와 유사한 문제로는 Tailard(1996)가 제시한 VRPHE (VRP with a Heterogeneous Fleet of Vehicles)가 있으나 이는 HVRP와 달리 각 차량유형에 대한 대수의 제한이라는 차이가 있다. 이 문제를 풀기 위해 Tailard는 타부서치를 바탕으로 열생성기법을 제안하였는데, 이 방법은 우선 타부서치의 AMP (Adaptive Memory Procedure)를 이용하여 각 차량용량별로 초기해를 구하고 그 해들 중 여러 개의 우수한 경로들을 뽑아 메모리에 저장시킨 뒤 그들의 조합을 이용하여 최소비용의 차량 경로 집합을 구성한다. 또한 Liu and Shen(1999)의 HVRPTW (HVRP with Time Window)는 복수 차량유형의 문제에 시간제한 요소를 추가하였고, Dullaert *et al.*(2002)은 HVRPTW 문제를 풀기 위해 Saving 기법을 적용한 발견적 알고리즘을 제안하였다.

이와 같이 차량경로문제에 대한 여러 분야의 연구는 고전적인 형태에서 현실적인 문제로 발전하면서, 추가되는 여러 가지 제약조건들과 고객 서비스 요구수준의 향상이라는 목적에 부합하기 위하여 여러 가지 형태로 연구되고 있으나 HVRP는 문제해결 방법이 난이한 관계로 아직까지 많은 연구가 진행되지 못하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 HVRP의 변형된 형태로 차량의 적재한계와 방문 가능 고객수 제한이라는 제약사항을 추가한 복수 차량유형의 차량경로모형(HVRPCR: HVRP with Customer Restriction)을 제시하고자 한다. 즉, 기존 연구에서는 화물적재 시 가능한 차량 적재용량의 100%를 적재하여 차량대수를 줄임으로써 운송비용을 줄이려 하였으나 현실적으로 국내 화물운송시장은 수급 불균형이 심각하여 1997년에서 2002년까지 5년간 화물자동차는 96% 증가한 데 비하여 화물은 14% 증가하였고 이에 따라 적재효율도도 48.1%에서 47.4%로 감소하는 결과를 가져왔다. 또한, 화물운송시장의 제도적 문제로 지입제와 화물주선은 차량 대비 화물량 부족을 초래하여 평균적재율을 낮추는 원인이 되고 있어(Hong, 2003) 이러한 현실을 반영하기 위해 적재한계 제한이라는 제약조건을 추가하였다. 그리고 기존 연구는 차량경로 선정 시 전체 운송비용을 줄이기 위해 각 차량별 이동거리는 고려하지 않고 차량 전체의 이동거리가 최소화되도록 하는데, 그러한 결과를 나타내는 대표적인 예들 <Table 1>에 표현하였다(Gendreau *et al.* 1999).

<Table 1>은 실험상황에 대하여 최고의 결과를 구성하는 차량경로이지만 경로별 이동거리는 최대·최소의 차이가 4.6배, 방문 고객수는 2개소부터 18개소까지 폭넓게 분포되고 있어 차량별 운행거리 할당이 불공평하고 가령 일일단위 차량운행 계획 수립 시 화물 특성에 따른 하역시간을 고려할 경우 일일 방문 가능 고객의 수가 10개소로 제한되면 <Table 1>의 차량 경로 중 3개가 부적합하게 되므로 보다 현실적인 문제접근을 위하여 방문 가능 고객수 제한이라는 제약조건을 고려하게 되었다.

Table 1. Gendreau *et al.* instance

Route no.	Vehicle type	Loadage	Distance	Visit no.	Travel route
1	B	47	101.41	4	0-25-55-31-72-0
2	C	98	80.99	7	0-8-19-54-13-57-15-27-0
3	F	395	142.69	18	0-17-3-44-32-9-39 -58-10-38-65-66-11-59 -14-53-35-7-26-0
4	C	98	84.71	6	0-50-18-24-49-16-51-0
5	E	233	120.14	14	0-6-33-63-23-56-41-43 -42-64-22-1-73-2-68-0
6	B	49	31.32	2	0-40-12-0
7	C	100	77.51	5	0-74-21-61-28-62-0
8	C	95	30.86	4	0-67-46-52-34-0
9	E	249	104.51	15	0-4-45-29-5-37-20-70-60 -71-69-36-47-48-30-75-0

### 3. HVRPCR 수리모형

본 장에서는 적재한계와 방문 가능 고객수 제한이 있는 복수 차량유형에 대한 차량경로모형(HVRPCR)을 수리모형으로 정의하고 구성한다. 이를 위해 차량경로문제의 표준형태인 Danzig and Ramser(1959)의 모형을 기초로 차량유형을 여러 종류로 다양화하고 차량 유형별 적재 가능 범위를 설정하며 방문 가능 고객수를 제한하는 상황에서 차량들의 총 운행비용을 최소화하는 모형을 제시한다.

#### 3.1 모형 정의 및 가정사항

본 연구에서 구성하고자 하는 차량경로모형은 전체 네트워크 상에  $N$ 개의 고객이 있고 이 고객의 요구량을 충족시킬 수 있는 유일한 배송센터( $i=0$ )는 차량적재용량( $C_u$ )이 다양하며 차종별 보유대수에 제한이 없는 가용차량을 보유하고 있다. 각 고객의 요구량( $D_j$ )과 위치는 알려져 있으며 모든 고객은 한 대의 차량에 의해서 한 번만 방문되고 운행되는 차량의 총 운행비용은 차량고정비와 운행거리에 따른 변동비의 합이 최소가 되도록 한다. 여기서 고정비는 차량이 운행됨에 따라 이동

거리에 관계없이 추가되는 비용으로, 운전자 임금(운전자별 동일)이 포함되고, 변동비는 운행차량에 대하여 이동거리에 따라 비용이 증가하는 연비에 따른 연료비로 한정한다. 또한 각 차량은 일정한 방문 가능 고객수를 초과하여 방문할 수 없고 각 차량경로에 포함된 고객 요구량의 합은 차량의 적재허용 한계 이하로 적재할 수 없으며 최대 적재용량을 초과할 수 없다. 화물의 적재 및 하역에 소요되는 시간은 별도로 고려하지 않으나 화물 특성에 따른 하역 소요시간에 따라 방문 가능 고객수를 결정한다.

#### 3.2 변수 정의 및 모형구성

본 절에서는 모형 정의와 가정사항을 수리모형으로 구성하기 위해 필요한 변수들을 정의하고 모형을 수립하며 제약식들에 대해 설명한다.

수리모형에 사용되는 변수들은 다음과 같다.

- $N$ : 고객수
- $i, j$ : 고객번호 ( $i, j=1, \dots, n$ ;  $i, j=0$ : 공급지)
- $D_j$ : 고객 요구량
- $U$ : 차량유형의 수( $u = 1, \dots, U$ )
- $C_u$ : 차량유형별 적재용량( $C_1 < C_2 < \dots < C_u$ )
- $K$ : 차량유형별 가용대수( $k = 1, \dots, K$ )
- $T$ : 고객의 부분집합
- $V$ : 고객의 전체집합
- $L$ : 적재 허용한계 하한값
- $H$ : 적재 허용한계 상한값
- $S$ : 방문가능 고객수
- $f_u$ : 차량 유형별 고정비
- $g_u$ : 차량 유형별 변동비
- $d_{ij}$ : 고객  $i$ 와  $j$  간 이동거리

결정변수로는 다음의 두 가지를 사용한다.

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{고객 } i \text{에서 } j \text{까지 차량종류 } u \text{의 } k \text{번째 차량이 운행} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$y_{uk} = \begin{cases} 1, & \text{차량유형 } u \text{의 } k \text{번째 차량이 고객을 하나라도 방문} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

이러한 변수들을 이용하여 수리모형을 구성하면 목적함수와 제약식들이 구성된다. 이 식들은 차량경로문제의 표준형태에 복수 유형의 차량을 묘사하는 변수  $u$ 와 차량의 적재허용 한계와 방문 가능 고객수를 제한하기 위해 제약식 (5)와 (6)을

추가하였다.

$$\text{Minimize } \sum_{u=1}^U \sum_{k=1}^K [f_u y_{uk} + g_u \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} x_{ijuk}] \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{i=0}^N \sum_{u=1}^U \sum_{k=1}^K x_{ijuk} = 1 \quad \text{for } \forall j \quad (2)$$

$$\sum_{j=0}^N \sum_{u=1}^U \sum_{k=1}^K x_{ijuk} = 1 \quad \text{for } \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ipuk} - \sum_{j=0}^N x_{pjuk} = 0 \quad \text{for } \forall u, k, p = 1, \dots, N \quad (4)$$

$$\sum_{p=1}^N x_{p0uk} \times L \times C_u \leq \sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N x_{ijuk} \times D_j \leq \sum_{p=1}^N x_{0puk} \times H \times C_u \quad \text{for } \forall u, k \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=1}^N x_{ijuk} \leq S \quad \text{for } \forall u, k \quad (6)$$

$$\sum_{i \in T} \sum_{j \in T} x_{ijuk} \leq |T| - 1 \quad \text{for } \forall u, k, T \subset V, |T| \neq 0 \quad (7)$$

$$x_{iik}, x_{jjk} = 0 \quad \text{for } \forall i, j, u, k \quad (8)$$

본 모형의 근본적인 목적은 현실적인 화물운송시장의 제도적 문제점에 따른 적재한계 제한과 차량 1대가 화물의 특성에 따라 일일 방문 가능한 고객수의 제한이라는 조건하에 차량의 운행비용을 최소화하는 것으로 차량이  $n$ 대 운행될 경우  $n$ 대의 차량에 대한 고정비와 거리에 따른 변동비의 합이 계산되는데, 이때, 고정비는 운행되는 차량의 수만큼 비용이 증가하고 변동비는 차종별 차이를 고려하여 차량의 이동거리에 따라 증가한다. 목적함수는  $u$ 종류의 차량을 각각  $k$ 대 보유하고 있을 경우 배치되어 운행한 차량의 총 운송비용을 최소화하는 의미를 포함한다.

유효한 차량경로 구성을 위해 우선 (2)와 (3)번 제약식은 각 고객이 한 대의 차량에 의해 한 번만 방문되어야 한다는 것을 의미하고 이것은 고객  $i$ 에서  $j$ 로의 동일한 경로를 복수의 차량이 방문할 수 없다는 의미를 내포한다.

(4)번 제약식은 차량종류  $u$ 의  $k$ 번째 차량이 임의의 고객  $p$ 를 방문한 후, 반드시  $p$ 지점에서 단일고객으로 이동하거나 배송센터로 복귀하는 차량흐름의 연속성을 나타낸다.

(5)번 제약식은 각각의 차량경로에 포함된 고객 요구량의 합은 그 경로를 방문하는 차량의 적재용량의 허용범위를 벗어날 수 없음을 의미한다.

(6)번 제약식은 배차 할당된 차량에 대하여 방문 가능한 고객수를 제한하는 식으로 차량경로 선정 시 특정 차량에 대하여 방문 가능한 고객이 지나치게 많이 편성되지 않도록 하기 위해 사용된다.

(7)번 제약식은 부분경로(sub-tour) 방지를 위한 조건으로서  $T$ 는 고객의 부분집합을,  $V$ 는 전체집합을 나타내어 각 차량에

의해 형성되는 경로들은 반드시 배송센터에서 최초로 출발하고, 최종적으로 배송센터에 도착해야 함을 의미한다. 따라서 차량 경로는 반드시 배송센터와 연결되는 경로가 있어야 한다. 그리고 (8)번 제약식은 동일 지점에서의 이동이 불가능함을 나타낸다.

## 4. HVRPCR 알고리즘

본 장에서는 수리모형의 목적함수인 최소 운행비용을 보다 효율적이고 신속하게 산출하기 위한 HVRPCR 알고리즘을 제시한다. 이 알고리즘의 가장 큰 장점은 신속한 차량경로 형성으로 기존 연구(Gendreau *et al.*, 1999; Wassan and Osman, 2002)의 메타 휴리스틱 기법은 보다 나은 해를 산출하는 데는 우수하지만 해 도출과정에서 만족할 만한 수준의 해를 산출하기 위해서는 소요되는 절차가 복잡하여 긴 시간이 소요되는 데 비해 HVRPCR 알고리즘은 전역탐색(Sweeping)방법과 3-opt 기법을 적용하여 수요고객의 수가 10, 20개소 정도의 소규모가 아닌 수백, 수천의 고객 수요가 발생하는 경우에도 조건을 충족하는 해를 신속하게 구할 수 있다. 알고리즘은 두 단계 절차로 구성된다.

### 4.1 초기해 산출

Gillet and Miller(1971)에 의해 개발된 전역탐색(Sweeping)방법은 고객좌표를 기준으로 해법을 전개하는데, 그 방법을 요약하면 우선 극좌표 상에서 한 지점을 선택하여 기준으로 설정한 다음, 배송센터와 기준고객을 연결한 선을 시계방향(clockwise) 혹은 반시계방향(counter-clockwise)으로 돌린다.

여기서 이 선이 지나간 지점들은 하나의 경로에 하나씩 추가되는데, 그 경로에 포함된 고객의 전체 물량이 차량의 적재용량을 초과하지 않을 때까지 계속 지나간다. 만일 적재용량을 초과하게 되면 마지막으로 추가된 고객이 그 다음 경로를 형성하기 위한 기준지점이 된다. 이와 같은 요령으로 모든 고객이 포함될 때까지 반복하여 차량별 고객을 할당하게 된다. 이러한 전역탐색 알고리즘을 본 연구에 적용하기 위하여 변형시킨 절차는 다음과 같다.

**단계 1:** 배송센터 좌표를 기준으로 각 고객에 대한 극좌표값을 구한다. 기본공식은 <Table 2>와 같다.

**단계 2:** 극좌표값의 크기에 따라 작은 값부터 오름차순으로 정렬한 후 새로운 고객의 번호( $J$ )를 부여하고( $J = 1, 2, \dots, n$ ), 배송센터/고객별 거리를 식 (9)와 같이 계산하여 거리행렬을 만든다.

$$d_{ij} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \quad (9)$$

Table 2. Polar coordinate value

Quadrant	Formula
1st	$R(n)=\tan^{-1}\left\{\frac{Y_n-Y_0}{X_n-X_0}\right\}$
2nd	$R(n)=\pi-\tan^{-1}\left\{\frac{Y_n-Y_0}{X_n-X_0}\right\}$
3rd	$R(n)=\pi+\tan^{-1}\left\{\frac{Y_n-Y_0}{X_n-X_0}\right\}$
4th	$R(n)=2\pi-\tan^{-1}\left\{\frac{Y_n-Y_0}{X_n-X_0}\right\}$

단계 3:  $J=1$ 을 기준으로 선정하여 반시계방향으로 돌면서 정렬된 고객들을 경로에 추가시킨다. 이때 비교기준으로 각각의 차량경로에 포함된 고객 요구량의 합은 차량의 적재 허용한계 이내에 있어야 하고 고객 요구량에 대한 차량별 적재량을 비교할 때에는 국내 화물운송시장의 수급불균형과 제도적 문제점 등 현실을 최대한 반영하기 위해 차량종류는 용량이 작은 것부터 선택하여 비교한다. 고객수 제한은 고객별 수요물품의 특성에 따른 하역시간을 고려하여 차량이 일일 방문 가능 고객수를 초과할 수 없으며 각 차종별 가용대수에는 제한이 없다. 이러한 기준하에 다음과 같은 절차로 경로를 할당한다.

- (1) 차량적재용량을  $C$ , 고객 요구량을  $d(n)$ , 차량적재 요구량의 합을  $P$ , 방문 가능 고객수를  $a$ , 적재 허용한계를  $L, H$ 라 하고 값을 초기화한다.
- (2) 고객을 오름차순 순서대로 경로에 포함하여 계산한다.
- (3)  $P$ 와  $L \times C, H \times C$ 를 각각 비교한다.
  - $P < L \times C$ 이면 남아 있는 고객의 존재 여부를 확인하여 더 이상 고객이 없을 경우 단계 4로 이동하고, 남아 있는 고객이 있을 경우에는 고객 요구량의 합에 대한 차량별 적재율을 계산하여 최대 적재율을 보유한 차량이 선정 되도록 하고 방문 가능 고객수와 현 방문 고객수를 비교하여 방문 가능 한계에 도달하면 단계 4로 이동하고 그렇지 않으면 (2)로 이동한다.
  - $L \times C \leq P \leq H \times C$ 이면 단계 4로 이동한다.
  - $P > H \times C$ 이면 차량의 용량을 한 단계 증가시키고 다시 (3)의 최초로 이동한다.

단계 4: 배차가 완료된 차량에 대하여 차량종류 및 차량별 운행경로와 적재 화물량을 표시하고 경로별 이동거리를 계산한다. 이때 남아 있는 고객이 있을 경우 단계 3의 (1)로 이동한다.

단계 5: 경로별 이동거리의 총합을 구하고 초기해에 대한 계산을 종료한다.

계산이 종료된 초기해에는 각 경로별 차량종류와 고객번호

차량적재량, 운행거리가 포함되어 있으며 이 요소들은  $k$ -opt 알고리즘으로 최고해를 산출하기 위해 경로별 순서대로 2단계 알고리즘으로 자동 입력된다. 초기해 산출을 위한 알고리즘의 순서도는 <Figure 1>과 같다.

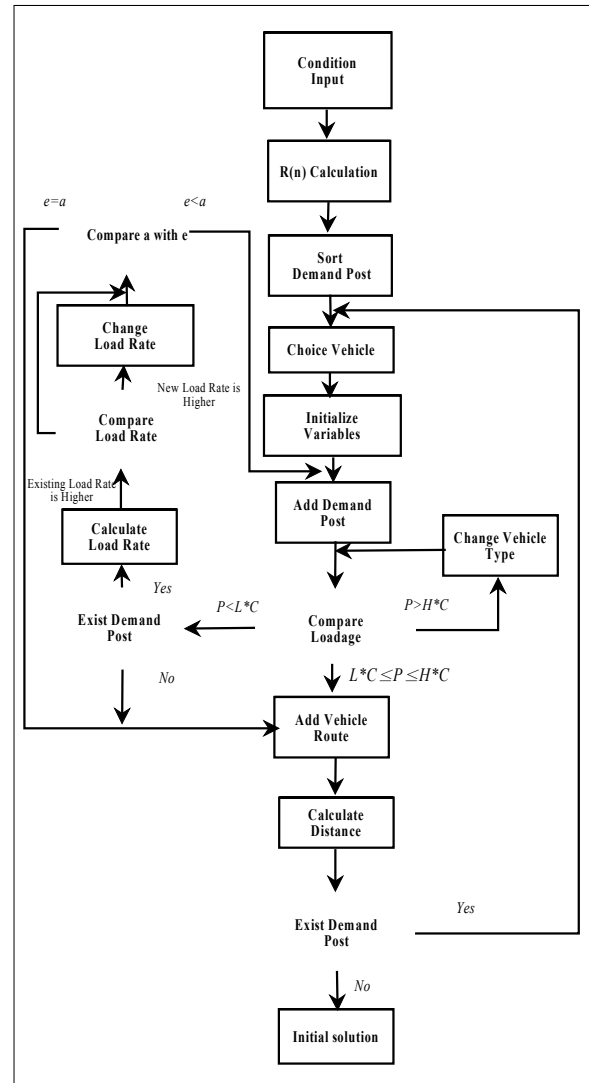


Figure 1. Flow chart of the 1st step algorithm.

### 4.2 최고해 산출

Lin(1965)에 의해 개발된  $k$ -optimal 알고리즘은 임의의 해밀턴 순환로에서  $k$ 개의 호를 제거하고( $k=2, 3, \dots, N$ ) 순환로에 없었던  $k$ 개의 호로 대체하여 새로운 해밀턴 순환로를 생성한다 여기서 이 새로 만들어진 순환로를 초기 순환로의 이웃이라 하는데 임의의 순환로에는 수많은 이웃이 존재한다. 이 수많은 이웃들을 순차적으로 조사하여 비용이 더 적게 드는 개선된 경로를 탐색하게 되는데, 이 개선된 경로로부터 이웃을 만들고 그 비용을 조사하여 좀더 개선된 경로를 구하는 과정을 반복해서 수행하게 된다.

이러한  $k$ -optimal 알고리즘은 이전 단계에서 산출된 초기해를 이용하여 다음과 같은 절차를 통해 최고해를 산출한다

- 단계 1:** 우선  $k$ 를 결정(여기서는  $k=3$ 으로 가정)하고 경로가 구성된 차량을 할당 순서대로 정렬한 후 순서대로 번호를 지정한다( $Tour = 1, 2, \dots, n$ ).
- 단계 2:** 하나의 경로를 선택하여 초기 해밀턴 순환로  $t$ 를 결정한다.
- 단계 3:** 순환로  $t$ 의 이웃을 구성하고 그 거리를 비교하여 최소거리의 경로를 구한다.
- 단계 4:** 경로의 최적화가 완료된 차량에 대하여 차량종류 및 차량별 운행경로와 적재화물량을 표시하고 그 경로의 이동거리를 계산한다. 이때 남아 있는 경로가 있을 경우 단계 2로 이동한다.
- 단계 5:** 운행차량의 고정비와 변동비를 경로별 이동거리와 연계하여 비용의 총합을 구하고 최고해에 대한 계산을 종료한다.

### 4.3 예제 적용

본 논문에서 제시한 차량경로 알고리즘의 수행과정을 단계별로 설명하기 위하여 20개의 고객을 갖는 Gendreau *et al.* (1999)의 3번 예제를 사용하였다. 알고리즘은 C++ 언어로 구현하였고 실험은 CPU 1.8GHz, RAM 256MB PC 환경에서 수행하였다. 예제 문제에서와 같이 변동비는 없고 고정비는 차종별 차이를 두었으며 Gendreau *et al.*(1999)의 실험결과와 비교 분석하기 위하여 방문 가능 고객수와 적재 허용한계에 대한 제한조건은 고려하지 않았다.

#### (1) 초기해

첫 번째 단계에서는 복수유형 차량에 대한 차량경로 할당 및 초기해를 구하는데 우선 단계 1에서 각 고객위치에 대한 극좌표값을 구하고 단계 2에서는 단계 1에서 구한 극좌표값을 작은 값부터 오름차순으로 정렬한 후 새로운 고객의 번호를 부여하며, 배송센터/고객별 거리를 계산하여 거리행렬을 만든다. 1, 2단계를 수행하면 <Table 3>과 같은 결과가 도출된다.

단계 3에서는 1번 고객을 기준으로 선정하여 시계 반대방향(counter-clockwise)으로 돌면서 정렬된 고객들을 경로에 추가시킨다. 이때 비교기준으로 각각의 차량경로에 포함된 고객 요구량의 합은 차량의 적재 허용한계 내에 있어야 하고 고객별 요구량에 대한 차량별 적재량을 비교할 때에는 차량용량(20, 30, 40, 70, 120으로 구분)이 작은 차량부터 우선적으로 비교되되 방문 가능 고객수 제한범위까지도 적재 허용한계에 이르지 못할 경우에는 차량종류 중 적재율이 가장 높은 차량을 선택한다. 본 문제에서는 적재율이 가장 높은 차량인 120(E형) 3대가 사용되었다. 이러한 기준요소하에 차량별 경로를 할당한다.

단계 4와 단계 5에서는 배차할당이 완료된 차량에 대하여 차량종류 및 차량별 운행경로와 화물 적재량을 표시하고 경로별 운행거리를 계산하며 운행거리의 총합을 구하여 초기해에 대한 계산을 종료한다. 초기해 산출을 위한 발전적 해법을 수행하면 <Table 4>와 같은 결과가 산출된다.

#### (2) 최고해

두 번째 단계에서는  $k$ -opt 알고리즘을 이용하여 첫 번째 단계에서 구한 초기해를 개선하고 차량경로의 최고해를 구한다. 단계 1에서  $k=3$ 으로 하고 <Table 5>와 같이 차량을 할당 순서대로 정렬한 후 번호를 지정한다.

단계 2에서는 하나의 경로를 선택하여 초기 해밀턴 순환로를 결정하고 단계 3에서 순환로의 이웃을 구성한 후 순환로와 이웃의 거리를 비교하여 최소거리의 경로를 구한다.

**Table 3.** Calculation result of polar coordinate value

Rank	Coordinate	Demand	Polar coordinate value	Customer number	Vehicle number
1	(22, 1)	15	0.0454233	16	1
2	(12, 1)	19	0.0831412	11	
3	(19, 9)	30	0.442374	2	
4	(27, 18)	28	0.588003	20	
5	(22, 24)	16	0.828849	3	
6	(7, 12)	7	1.04272	1	
7	(1, 22)	23	1.52537	8	2
8	(-13, 23)	19	2.08525	7	
9	(-9, 7)	15	2.48055	6	
10	(-18, 2)	21	3.03093	14	
11	(-13, -7)	41	3.63553	18	
12	(-25, -15)	23	3.68201	13	
13	(-17, -23)	9	4.07588	19	3
14	(-10, -14)	9	4.09214	4	
15	(-3, -17)	3	4.53772	17	
16	(1, -8)	29	4.83674	12	
17	(6, -24)	10	4.95737	15	
18	(10, -10)	21	5.49779	5	
19	(22, -19)	5	5.57083	10	
20	(22, -7)	11	5.97513	9	

**Table 4.** 1st solution of algorithm

Vehicle type	Travel route	Loadage	Load rate (%)	Distance
120(E)	0-16-11-2-20-3-1-0	115	95.83	95.6065
120(E)	0-8-7-6-14-18-0	119	99.17	87.9069
120(E)	0-13-19-4-17-12-15-5-10-9-0	120	100	150.745
Total	•	354	98.33	334.258

단계 4와 5에서는 경로의 최적화가 완료된 차량에 대하여 차량종류 및 차량별 운행경로와 적재화물량을 표시하고 그 경로의 운행거리를 계산하여 거리의 총합을 구한다. 이렇게 산출된 최단거리를 이용하여 운행되는 차종별 고정비와 변동비에 따른 최소비용을 산출하며 이를 위한 발견적 해법의 수행 결과는 <Table 6>과 같다.

최고해를 산출하는 운행거리를 초기해와 비교할 경우 120(E형) 1번과 3번 차량의 경로가 변경됨에 따라 총 운행거리는 24.591이 감소하였고 계산 소요시간은 컴파일한 후 0.62초 만에 최고해를 산출하였다.

**Table 5.** Vehicle sort sequence

Rank	Vehicle type	1st Travel route
1	120(E)	0-16-11-2-20-3-1-0
2	120(E)	0-8-7-6-14-18-0
3	120(E)	0-13-19-4-17-12-15-5-10-9-0

**Table 6.** Best solution of algorithm

Vehicle type	Travel route	Loadage	Load rate (%)	Distance	Cost
120(E)	0-11-16-2-20-3-1-0	115	95.83	83.5393	• Fixed cost : 675 • Distance : 309.667
120(E)	0-8-7-6-14-18-0	119	99.17	87.9069	
120(E)	0-12-4-13-19-17-15-5-10-9-0	120	100	138.22	
Total	•	354	98.33	309.667	984.667

**Table 7.** Result comparison of instance

Contents	Gendreau <i>et al.</i>				HVRPCR algorithm				
	Vehicle type	Route	Loadage	Distance	Vehicle type	Route	Loadage	Distance	
Final solution	C	0-5-11-0	40	37.36	E	0-11-16-2-20-3-1-0	115	83.54	
	B	0-8-1-0	30	47.58					
	E	0-18-4-19-13-14-6-0	118	91.65	E	0-8-7-6-14-18-0	119	87.90	
	B	0-12-0	29	16.12					
	E	0-3-20-2-16-9-10-15-17-0	118	125.47	E	0-12-4-13-19-17-15-5-10-9-0	120	138.22	
	A	0-7-0	19	52.84					
Total distance				371.02	Total distance				309.66
Travel cost	961.02				984.66				
Solution time(sec)	164				0.62				

(3) 결과

타부서치를 이용하여 해를 산출한 Gendreau *et al.*(1999)의 연구결과와 동일한 수치예제에 본 연구의 HVRPCR 알고리즘을 적용하여 결과를 비교함으로써 알고리즘의 합리성을 판단하였다. 이를 위해 <Table 7>에서 두 알고리즘의 차량경로와 운행거리, 운행비용, 그리고 계산 소요시간을 비교하였다.

본 연구의 알고리즘은 Gendreau *et al.*(1999)의 연구와 비교하여 차량 운행거리는 371.02에서 309.66으로 61.36이 줄고 운행된 차량의 수는 6대에서 3대로 감소하였으나 Gendreau *et al.*(1999)은 차량운행거리에 따른 변동비를 고려하지 않고 차량종류에 따른 고정비만을 운행비용에 적용함으로써 본 연구의 운송비용이 23.64 초과되는 결과가 도출되었다. 즉, 본 연구는 운송비용 계산에 고정비뿐만 아니라 차량별 연비 등 이동 거리에 따른 차량별 변동비 차이도 고려하여 운송비용이 최소가 되는 경로가 형성되도록 하였으나 Gendreau *et al.*(1999)의 연구는 차량종류별 고정비 차이에만 중점을 두어 최소비용의 경로를 형성하도록 하고 변동비는 이동거리로만 단순화시켜 적용하였기 때문에 이동거리와 총 운송비용 산정결과에 있어 본 연구와 차이가 발생하였다. 또한 시간의 경우 sun sparc 10 station에서 실험을 수행한 Gendreau *et al.*(1999)의 실험결과와 컴퓨터 성능의 차이로 인해 계산수행시간의 직접적인 비교는 제한되지만 기존 연구결과를 참고로 HVRPCR 알고리즘 계산 시간을 절대적으로 평가했을 때 매우 빠른 시간 안에 만족할 만한 해를 산출할 수 있었다.

결과적으로 운송비용은 고정비뿐만 아니라 차량종류별 연비 등 변동비를 운행거리와 차량대수에 따라 계산하여 적용할 수 있는데 운송사업의 특성에 따라 고정비와 변동비의 정의방법과 적용비율을 달리하면 전체적인 운송비용에는 큰 변화가 나타남을 알 수 있다. 그리고 복수유형의 차량은 단일유형보다 차량경로를 선정하는 데 있어 유연한 결과를 갖고 있어 차

량용량이 큰 경우 많은 물건을 적재할 수 있는 장점이 있는 반면 운행비용이 많이 소요되는 문제가 있어 고정비와 변동비의 적용방법에 따라 현실적인 상황에 대한 복수 차량유형의 실질적 효율성과 그 효과분석이 요구되지만 이에 대한 연구는 매우 미비한 실정이다. 따라서 고객위치와 요구량의 크기, 차량별 적재한계와 방문 가능 고객수 제한 등의 모수 변화에 따른 보다 현실적인 차종(1.4t, 2.5t, 5t, 10t)을 사용해 시뮬레이션을 수행하여 단일유형 대비 복수차량의 효과와 고정비 및 변동비에 따른 운송비용 발생경향을 분석한다.

### 5. 알고리즘 평가 및 분석

시뮬레이션 수행을 위해 다양한 문제를 구성하여 각각의 상황에서 복수유형이 단일유형의 차량과 비교해 어떠한 장·단점이 있는지 분석하고 이를 통해 알고리즘의 현실 적용방안을 살펴본다.

실험은 일일 방문 고객수를 50개, 고객별 위치와 요구량의 무게분포는 일양분포(Uniform 분포)로 가정하였으며 일일 방문 가능 고객수는 최대 10개소, 최대 허용적재율은 최대로 하되 최소 허용 적재율은 0.80로 하여 1.00까지 0.05 간격으로 5개 수준을 검토하였다. 이 때 방문 가능 고객수는 수요물품의 종류별 특성에 따라 고객의 일정한 하역시간 고려 시 방문할 수 있는 최대 가능 고객수를 의미한다. 실험을 위한 세부 적용 기준은 <Table 8>과 같이 사용하였다.

Table 8. Application standard of instance

Case	Condition	Content
1	• Location : near • Weight : light load	• Location : less than 50km • Weight : [0.1, 2]ton
2	• Location : near • Weight : heavy load	• Location : less than 50km • Weight : [1, 4]ton
3	• Location : far away • Weight : light load	• Location : [50, 100]km • Weight : [0.1, 2]ton
4	• Location : far away • Weight : heavy load	• Location : [50, 100]km • Weight : [1, 4]ton

실험을 위한 문제의 구성은 각 상황별 50개의 데이터 집합을 방문 가능 고객수와 최소 허용 적재율값의 변화에 따라 각각 30개씩 구성한 후 HVRPCR 알고리즘 적용에 따른 운송비용 절감액의 평균치를 추정하였다. 이때, 절감기준은 단일유형 차량의 운행거리에 따른 비용과 비교하였으며 비용요소 중 고정비는 운전자 임금, 변동비는 차량연비로 한정하되 업체별 임금수준의 차이를 없애기 위해 고정비는 노동부 노동통계조사보고서(2004) 상의 평균임금을 사용하였고, 변동비는 운송업체에서 사용하고 있는 차량의 연비를 <Table 9>와 같이 사용하였다.

Table 9. Variable cost used in instance

Vehicle (ton)	1.4	2.5	5	10
Max loadage (ton)	2	4	6	10
Distance per fuel (km/ℓ)	4.630	3.003	1.148	0.853
Consume per distance (ℓ/km)	0.216	0.333	0.871	1.173
Variable cost (won/km)	216	333	871	1,173

비용절감 산출 이외에 추가적으로 복수유형의 차량 대비 단일 차종별 운송비용과 복수유형 차량의 최적 차량조합을 산출하여 분석하였다.

#### 5.1 복수유형 차량의 비용절감 효과

본 절에서는 앞서 기술한 바와 같이 4가지 상황에 대하여 방문 가능 고객수와 허용적재율을 변화시켜 가며 각 상황별 30회씩의 시뮬레이션을 통해 평균 데이터를 산출하여 그 결과를 도출하였다.

##### (1) 고객 제한에 따른 운송비 절감

고객 제한이 있는 복수유형 차량에 대하여 허용적재율과 방

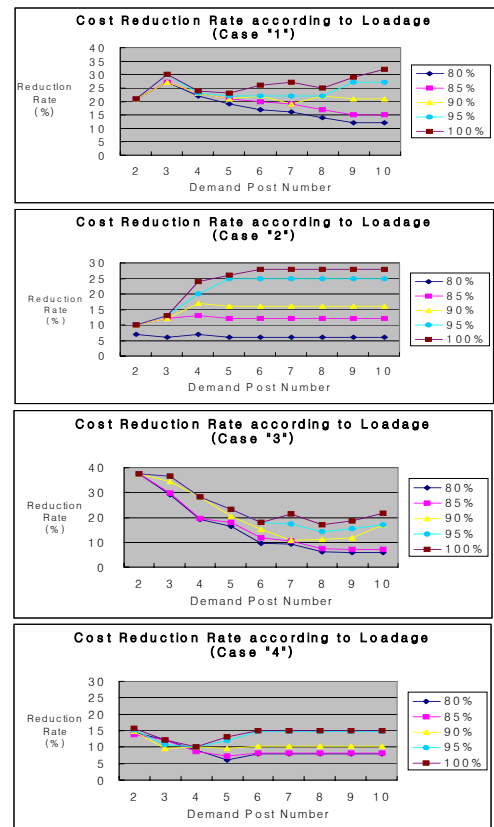


Figure 2. Analysis of the cost reduction rate.



문 가능 고객수를 변화시키면서 운송비용 절감비율을 분석하여 그 결과를 <Figure 2>와 같이 표현하였고 <Table 10>에 관련 결과를 종합하였다.

실험결과 제한조건이 추가된 복수유형의 차량은 단일유형보다 전체적으로 운송비용이 줄어드는 것으로 나타났다. 절감비율은 6~38% 정도로 고객의 위치분포(원, 근)와 요구량 무게분포(경, 중)에 따라 변동이 크지만 대체적으로 무게가 가벼운 경우 운송비 절감비율이 크고, 허용 적재율 상승에 따라 절감비율이 전체적으로 증가하며 고객의 위치가 비교적 가까울

때는 원거리보다 차량적재율에 따라 절감비의 차가 크게 나타났다. 반대로 고객의 위치가 멀리 떨어져 있을 때에는 절감비가 차량의 적재율에 영향을 적게 받는 것으로 나타났다. 즉, 고객의 위치가 가까울수록 허용적재율 증가에 따라 운송비가 크게 줄어드는 것을 알 수 있다.

(2) 복수유형과 단일유형 차량의 차종별 운송비용 비교

복수유형 차량의 운송비용은 전체적으로 단일유형에 비하여 차량운용의 융통성과 비교적 높은 적재율 때문에 적은 수

Table 10. Instance result according to customer conditions (unit : 10,000 won)

Case		Possible visit number of demand post										Average	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total		
1	Single type	370	290	250	233	224	221	216	212	212	2226	247.33	
	Heterogeneous type	80%	292	210	195	189	186	186	186	186	186	1816	201.78
		85%	292	210	191	184	179	179	179	179	179	1772	196.89
		90%	292	210	191	185	174	179	168	168	168	1735	192.78
		95%	292	204	191	181	174	173	169	155	155	1694	188.22
		100%	292	204	190	180	166	160	162	150	144	1648	183.11
	Reduction rate (%)	Max	21.08	29.66	24.00	22.75	25.89	27.60	25.00	29.25	32.08	237.31	26.37
Min		21.08	27.56	22.00	18.88	16.96	15.84	13.89	12.26	12.26	160.73	17.86	
2	Single type	453	408	399	393	393	393	393	393	393	3618	401.96	
	Heterogeneous type	80%	420	382	369	369	369	369	369	369	369	3385	376.11
		85%	409	361	346	345	345	345	345	345	345	3186	354.00
		90%	409	358	330	329	329	329	329	329	329	3071	341.22
		95%	409	354	320	296	296	296	296	296	296	2859	317.67
		100%	409	354	303	292	284	284	284	284	284	2778	308.67
	Reduction rate (%)	Max	9.71	13.24	24.06	25.70	27.74	27.74	27.74	27.74	27.74	211.41	23.49
Min		7.28	6.37	7.52	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	57.86	6.43	
3	Single type	613	462	396	373	342	338	326	325	325	3499	388.78	
	Heterogeneous type	80%	383	327	320	311	309	306	306	306	306	2874	319.33
		85%	383	324	318	305	302	302	302	302	302	2840	315.56
		90%	383	303	284	296	290	301	290	287	270	2704	300.44
		95%	383	293	284	286	281	279	279	275	270	2630	292.22
		100%	383	293	284	286	281	279	270	265	255	2596	288.44
	Reduction rate (%)	Max	37.52	36.58	28.28	23.32	17.84	17.46	17.18	18.46	21.54	218.18	24.24
Min		37.52	29.22	19.19	16.62	9.65	9.47	6.13	5.85	5.85	139.50	15.50	
4	Single type	780	654	631	614	614	614	614	614	614	6363	707.00	
	Heterogeneous type	80%	667	575	573	577	565	565	565	565	565	5782	642.44
		85%	671	574	577	569	563	563	563	563	563	5769	641.00
		90%	665	591	568	555	551	551	551	551	551	5685	631.67
		95%	660	584	567	541	523	523	523	523	523	5490	610.00
		100%	657	574	568	534	522	522	522	522	522	5465	607.22
	Reduction rate (%)	Max	15.77	12.23	10.14	13.03	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	126.07	14.01
Min		13.97	9.63	8.56	6.03	7.98	7.98	7.98	7.98	7.98	78.09	8.68	

송비용이 발생하는 것으로 나타났다. 본 절에서는 단일유형의 차종별 운송비용의 발생 특성을 알아보기 위하여 고객위치와 고객 요구량의 무게분포에 따라 복수유형의 특성과 비교 분석하였다. 최대 허용적재율에서 발생한 비용을 비교하여 분석한 결과는 <Figure 3>과 같다.

<Figure 3>에서 소요 운송비용은 복수유형의 차량이 단일유형에 비하여 대체로 적은 운송비용이 발생하고 있으나 주목할 만한 결과로 고객 요구량 무게분포에 따라 요구량이 가벼운 경우 고객 4~5개소 미만에서는 복수유형의 차량보다 오히려 2.5톤 차량이 운송비가 적게 소요되고 요구량이 무거운 경우 용량이 큰 10톤 차량이 고객 3, 4, 5개소에서 운송비용이 적게 발생하고 있다. 이러한 결과는 수송물품의 종류(무게)에 따라 차량별 적재 선호도가 다르게 나타나기 때문으로, 본 실험에서 랜덤하게 생성되는 물품과 운행차량들의 경우 경량물은 2.5톤, 중량물은 10톤 차량에서 최상의 적재율을 나타내는 결과가 도출되었다.

결과적으로, 복수유형의 차량은 단일유형보다 대체적으로 운송비용이 적게 소모되는 차량편성이 가능하지만 경우에 따라서는 단일유형의 차량이 운송비가 적게 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 차량경로 선정 시에는 복수유형의 차량편성을 기본으로 하되 경우에 따라 단일유형의 차량편성을 고려해야 한다.

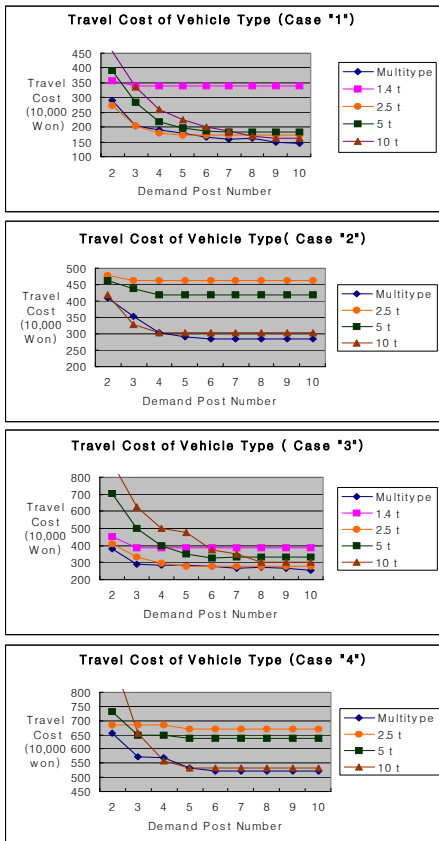


Figure 3. Cost analysis of each vehicle type.

### 5.2 차량 최적조합과 운송비용 발생경향

본 절에서는 복수유형 차량의 효율성을 바탕으로 방문 가능 고객수 제한에 따른 차량경로 형성을 위한 최적의 차량조합과 운송비용 발생경향을 분석하였다.

<Figure 4>는 차량경로 형성 시 운행되는 차량의 종류별 편성현황을 고객의 위치와 무게분포에 따라 비교 분석한 결과이다.

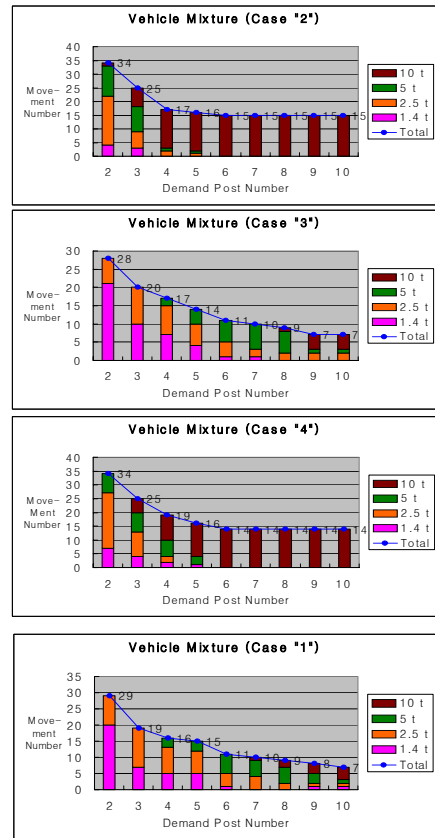


Figure 4. Vehicle mixture of multi-type.

<Figure 4>에서 각 상황별 복수유형의 차량조합을 살펴보면 방문 가능 고객수 증가에 따라 전체적으로 운행되는 차량의 수는 급격히 줄어들고 있다. 즉, 사용된 차량의 종류별 대수를 살펴보면 무게분포가 가벼운 경우 방문 가능 고객수가 점차 증가함에 따라 소형 차량(1.4톤, 2.5톤)의 운행 비율은 고객수 2개소에서 각각 100%로 운행차량의 전부를 차지하였으나 5개소일 때는 78.57%와 70.21%, 10개소일 때는 34.14%와 24.66%로 급격히 줄어들었고 이에 따라 대형 차량(5톤, 10톤)의 사용이 증가하여 운행차량의 전체 수는 29대에서 7대로 대폭 줄어 들었다. 이러한 현상은 무게분포가 무거운 경우에도 유사하게 나타난다. 따라서 고객의 위치와 요구량 무게분포와 관련하여 거리에는 큰 영향 없이 차량의 조합이 형성되는 데 비하여 무게에 따라서는 방문 가능 고객수가 적을 경우 소형 화물차가 효율적이고, 고객 제한의 수가 클 경우에는 대형 화물차가 더

효율적임을 알 수 있다.

일반적으로 차량경로는 운행거리가 증가함에 따라 전체 운송비용이 늘어나는 경향이 있으나 복수유형에서는 차량의 고정비를 적용하기 때문에 운행거리보다 차량의 종류와 수에 영향을 많이 받게 되는데 운행차량의 적재율 증가에 따라 차량대수가 줄어들고 결과적으로 차량에 포함된 고정비가 줄어 운송비용이 감소한다는 것을 알 수 있다.

차량운행에 따른 차종별 이동거리와 운송비용을 살펴보기 위해 최대 허용적재율 하에서 실험 적용기준 1번에 대하여 30회 배차실험을 실시하여 <Table 11>에 그 결과를 요약하였다.

각 상황별 이동거리를 살펴보면 방문 가능 고객수가 증가함에 따라 차량별 평균 이동거리가 99.4Km에서 126.98Km로 증가하지만 운행차량이 15.4대에서 7.4대로 감소하여 고정비가 52% 줄어들었고 이에 따라 운송비용도 187만 원에서 145만 원으로 줄었다. 하지만 군 수송부대의 경우처럼 운전자 임금이 고려되지 않는 상황에서는 운송비용에서 고정비가 제외되고 차량크기와 이동거리에 따른 변동비만 적용되어 오히려 방문 고객수의 증가에 따라 운송비용이 64만 원에서 86만 원으로 약 22만 원이 늘어나게 된다. 따라서 최소비용의 차량경로 선정을 위해서는 각 상황별, 업체 유형별 이동거리에 따른 변동비와 차량운행에 따른 고정비에 대한 영향 정도를 신중히 고려하여 판단하여야 한다.

### 6. 결론 및 향후 연구방안

본 연구에서는 차량경로문제의 여러 가지 변형 중 복수 차량유형을 사용하는 HVRP에 대하여 차량별 적재용량과 방문 가능 고객수 제한을 추가하여 차량별 이동경로와 운행거리 그리고 그에 따른 총 운송비용의 최소값을 산출할 수 있는

HVRPCR 모형을 제시하였고, 수송비가 최소화되는 차량배차 계획을 신속하게 수립할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

시뮬레이션 수행결과 단일유형 차량에 비하여 복수유형 차량의 운송비가 크게 절감되는 것으로 나타났고 고객제한에 따른 차량경로형성을 위한 최적의 차량조합을 분석하였다. 이를 토대로 본 연구의 알고리즘은 물품종류의 특성과 그에 따른 고객사에서의 물품하역 소요시간, 고객의 위치분포에 따른 운행차량의 공급소로의 일일 복귀 가능 여부 등을 고려한 차량 경로선정과 나아가 신규 설립 물류센터나 공장 등에서 물품을 고객사로 배달하기 위해 필요한 차량의 종류별 구매량을 결정하는 등 현실적인 상황에서의 활용이 가능하다.

복수차량 유형의 차량경로문제에 대한 향후 연구방안으로 는 보다 상위수준의 휴리스틱을 사용함으로써 발생 가능한 국부적 지역해를 극복하여 보다 완전한 해를 빠른 시간 안에 구할 수 있는 연구가 필요하고, 차종별 고정비와 변동비를 인건비와 차량연비 이외에 차량운행에 따른 감가상각비나 정비비, 고속도로 통행료 등으로 보다 현실화하여 적용할 필요가 있으며 본 알고리즘을 실상황에 적용하기 위해서는 사용자가 운용하기 쉽도록 GUI 환경으로 재구성할 필요가 있다.

### 참고문헌

Choi, E-J., Lee, T-H., Park, S-S. (2002), Integer Programming Approach to the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem, *Korean Institute of Industrial Engineers and The Korean OR/MS Society 2002 Spring Union Scientific Seminar*.  
 Dantzig, G. B. and Ramser, J. H. (1959), The Truck Dispatching Problem, *Management Science*, **6**, 80-91.  
 Dullaert, W., Janssens, G. K., Sørensen, K. and Vernimmen, B. (2002), New Heuristics for the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows, *Journal of the*

Table 11. Vehicle movement cost with distance

Contents		Visit limitation number of demand post : 5				Visit limitation number of demand post : 10			
		Vehicle movement number		Distance (km)		Vehicle movement number		Distance (Km)	
		Standard deviation	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation	Average
Vehicle composition	1.4 t	0.4	5.3	15.9	88.82	0.2	1.2	21.4	93.71
	2.5 t	0.7	6.8	31.3	100.41	0.3	1.4	29.3	125.43
	5 t	0.9	3.1	25.6	106.26	0.1	1.3	25.7	137.54
	10 t	0	0.2	16.4	102.11	1.1	3.5	36.2	151.24
	Total	2.0	15.4	89.2	397.60	1.7	7.4	112.6	507.92
	Average	0.5	3.85	22.3	99.40	0.425	1.85	28.15	126.98
Travel cost (won)	Fixed cost	1,232,000				592,000			
	Variable cost	639,917				859,417			
	Total cost	1,871,917				1,451,417			

- Operational Research Society*, **53**, 1232-1238.
- Fagerholt, K. (1999), Optimal Fleet Design in a Ship Routing Problem", *International Transactions in Operational Research*, **6**, 453-464.
- Gendreau, M., Laporte, G., Musaraganyi, C. and Taillard, E. D. (1999), A Tabu Search Heuristic for the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem, *Computer & Operations Research*, **26**, 1153-1173.
- Gillet, B. and Miller, L. (1974), A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem, *Operations Research*, **22**, 340-349.
- Golden, B., Assad, A., Levy, L. and Gheysens, F. G. (1984), The Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem, *Computer & Operations Research*, **11**, 49-66.
- Ha, H-G., Lee, K-M., Lee, J-M.(2003), *Strategies to Decrease National Logistics Costs for Improving National Competitiveness*, The Korea Transport Institute.
- Hong, G-S. (2003), *Improvement Plan of Goods Transport Institution*, The Korea Transport Institute.
- Kang, M-G. (1991), *Network and Algorithm*, Park -youngsa.
- Kim, J. U. and Kim, Y. D.(1999), A Decomposition Approach to a MultiPeriod Vehicle Scheduling Problem, *The International Journal of Management Science*, **27**, 421-430.
- Liu, F. H. and Shen, S. Y. (1999), The Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows, *Journal of the Operational Research Society*, **50**, 721-732.
- Malandraki, C., and Dial, R. B.(1996), A Restricted Dynamic Programming Heuristic Algorithm for the Time Dependent Traveling Salesman Problem, *European Journal of Operational Research*, **90**, 45-55.
- Ministry of Labor(2004), Report of Labor Statistical Investigation.
- Mosheiov, G. (1998), Vehicle Routing with Pick-up and Delivery: Tour-Partitioning Heuristics, *Computers industrial Engineering*, **34**, 669-684.
- Robert, T. Sumichrast and Markham, I. S. (1995), A Heuristic and Lower bound for a Multi-Depot Routing Problem, *Computer & Operations Research*, **22**, 1047-1056.
- Tailard, E. D. (1996), "A Heuristic Column Generation Method for the Heterogeneous Fleet VRP, *RAIRO*, **33**, 1-34.
- Wassan, N. A. and Osman, I. H. (2002), Tabu Search Variants for the Mix Fleet Vehicle Routing Problem, *Journal of the Operational Research Society*, **53**, 768-782.