

# 서비스 시간대별 교통상황을 고려한 차량경로문제

김기태 · 전건욱<sup>†</sup>

국방대학교 운영분석학과

## A Vehicle Routing Problem Which Considers Traffic Situation by Service Time Zones

Ki-Tae Kim · Geonwook Jeon

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

The vehicle travel time between the demand points in downtown area is greatly influenced by complex road condition and traffic situation that change real time to various external environments. Most of research in the vehicle routing problems compose vehicle routes only considering travel distance and average vehicle speed between the demand points, however did not consider dynamic external environments such as traffic situation by service time zones. A realistic vehicle routing problem which considers traffic situation of smooth, delaying, and stagnating by three service time zones such as going to work, afternoon, and going home was suggested in this study. A mathematical programming model was suggested and it gives an optimal solution when using ILOG CPLEX. A hybrid genetic algorithm was also suggested to chooses a vehicle route considering traffic situation to minimize the total travel time. By comparing the result considering the traffic situation, the suggested algorithm gives better solution than existing algorithms.

**Keyword:** VRP with time and traffic, service time zone, mathematical programming model, hybrid genetic algorithm

### 1. 서론

최근 우편, 택배, 제품 A/S, 물류 유통 등에 대한 수요가 많아지면서 기업마다 처리해야 할 물량이 크게 증가하고 있다. 또한 점점 복잡해지는 도로사정과 차량의 증가 등 외부 환경요인으로 인하여 원하는 시간에 제품을 수요지에 배송하는 것이 어려워지고 있다. 기업들은 고객과의 약속을 지키고, 물류 비용을 감소시키기 위해 각자의 특성에 적합한 물류 시스템을 구축하여 활용중이나 이들 대부분은 체계적인 물류 배송 계획보다는 경험적 노하우를 바탕으로 차량 경로를 계획하고 있다. 도심지와 같이 시간에 따라 동적으로 변화하는 교통상황 하에서 기존의 경험적 노하우에 의존하는 것은 물류비용의 증가는

물론 고객과의 신뢰를 저하시킬 수 있다.

수요시간의 이동 시간은 단지 거리에 의해서만 영향을 받는 것이 아니라 앞에서 언급한 바와 같이 교통상황에 큰 영향을 받는다. 수요시간의 거리가 가장 최단인 경로라고 해도 그 구간이 상승적인 정체 구간일 경우에는 오히려 다른 경로를 선택하는 것이 소요되는 시간을 줄일 수 있다.

차량경로문제(Vehicle Routing Problem)는 차고지에서 출발한 차량들이 서비스를 요구하는 고객들을 방문하고, 다시 차고지로 복귀하는데 소요되는 시간(거리, 비용, 차량대수 등)을 최소화하도록 차량의 경로를 결정하는 문제이다. 차량경로문제는 Dantzig and Ramser(1959)에 의해 처음으로 제기되었으며, NP-hard 문제로 알려져 있다. 차량경로문제의 유형에는 차량의 용

<sup>†</sup>연락처 : 전건욱 교수, 122-875 서울특별시 은평구 수색동 205번지 국방대학교 운영분석학과, Fax : 02-309-6233,

E-mail : g0jeon01@yahoo.co.kr

투고일(2009년 09월 07일), 심사일(1차 : 2009년 11월 06일), 게재확정일(2009년 11월 11일).

량 제한이 있는 CVRP(Capacitated VRP), 수요지 방문 시간대 제약이 있는 VRPTW(VRP with Time Windows), 다회방문이 가능한 VRPMT(VRP Multi Trips), 차고지가 복수인 MDVRP(Multi Depots VRP), 차량의 용량이 서로 다른 HVRP(Heterogeneous VRP), 수요지간 물품교환이 있는 VRPPD(VRP with Pickup and Delivery), 수거물량이 있는 VRPB(VRP with Backhauls), 확률적 상황을 고려한 SVRP(Stochastic VRP) 등의 다양한 형태로 폭넓게 연구되고 있다.

차량경로문제에 대한 기존연구는 최적화 해법(Optimal Algorithm)과 발견적 해법(Heuristic Algorithm)으로 구분할 수 있다. 그러나 수요지의 수가 증가함에 따라 많은 계산시간이 소요되므로 최적화 해법의 적용은 곤란하여 요즘에는 상대적으로 발견적 해법의 연구가 활발히 진행되고 있다. Clarke and Wright (1964)는 두 차량이 서로 다른 두 지점을 방문하고 돌아오는 것보다 한 대의 차량이 두 지점을 방문하고 돌아오는 경우 발생하는 비용의 절약을 이용하는 Saving Heuristic을 제안하였고, Goldberg and Lingle(1985)는 처음으로 유전자 알고리즘을 순환 판매원 문제(Traveling Salesman Problem)에 적용하였다.

시간에 따라 변화하는 속력을 고려한 기존 연구로서 Hill and Benton(1992)은 특정 시간에 고객이 위치한 지점에서의 평균 차량 속력을 추정하는 모델을 제시하였다. 2~3개의 서비스 시간대로 구분하고, 각 서비스 시간대별 차량의 평균 속력을 적용하여 총 이동 시간을 추정하였는데, Malandraki and Daskin(1992)은 Nearest Neighbor Search와 Cutting Plane을 이용하였으며, Moon and Yang(2004)은 TSP 알고리즘을 이용하였다. Yun *et al.*(2007)은 신호 대기와 병목 지체 구간에서 발생하는 지체 시간을 반영한 차량경로문제를 유전자 알고리즘을 이용하여 차량경로 및 총 이동 시간을 제시하였다.

하지만 기존의 대부분 VRP 연구에서 차량경로를 선정하는 기준으로 수요지간의 이동 거리와 이동 속력을 평가하여 경로를 구성하고 있으며, 특히, 모든 수요지간의 차량 이동 속력을 동일할 것으로 가정하거나 변화하는 속력만을 적용하여 경로를 구성하고 있어 동적인 외부환경의 반영이 미흡하였다.

본 연구에서는 서비스 시간대를 출근·오후·퇴근 3개의 시간대로 나누고, 각 시간대별로 원활·지체·정체의 교통상황으로 구분하여 모형을 설정하였다. 서비스 시간대별 교통상황을 고려하여 필요시 우회경로를 선정하고, 차량의 적재 능력을 고려하여 차량경로를 구성하며, 수요지에서의 서비스 시간을 포함한 총 소요 시간을 최소화하는 수리모형 및 하이브리드 유전자 알고리즘을 제시하였다.

## 2. 수리모형의 구축

### 2.1 모형의 개요 및 가정

본 연구에서 중점으로 다루고자 하는 분야는 서비스 시간대별 교통상황이 존재하고, 총 소요 시간을 최소화하는 차량경

로문제이며, 이를 본 연구에서는 VRPTT(VRP With Time and Traffic)로 정의한다.

기존의 차량경로 구성시에는 교통상황을 고려하지 않고, 단지 수요지간의 최단거리와 평균 속력을 고려하여 이동 시간을 추정하고 경로를 구성하였다. 하지만 실제 도심지에서는 차량의 증가, 집회, 공사 등 복잡한 도로사정과 외부 환경으로 인해 교통상황은 실시간으로 변화하고 있으며, 다음 <Figure 1>과 같이 원활·지체·정체 구간이 존재하게 된다.



Figure 1. Traffic Situation in Downtown

이러한 교통상황을 고려하여 이동 시간을 최소화할 수 있는 경로를 구성해 보면 다음 <Figure 2>와 같이 비록 이동 거리는 증가하지만 이동 시간을 단축시킬 수 있는 우회경로를 선택하게 된다.



Figure 2. Route of Shortest Distance and Time

본 연구에서는 단일 차고지를 중심으로 전체 N개의 수요지와 제한된 차량 대수를 보유하고 있고, 수요지별 서비스 시간과 차량의 적재용량은 일정하며, 수요지의 위치와 수요량은 알려져 있는 것으로 모형을 구축하였다.

모형의 구축을 위한 가정 사항은 다음과 같다.

첫째, 차량의 출발과 종착은 차고지에서만 이루어진다.

둘째, 각 수요지의 수요량은 1회 방문에 의해서 만족되며, 각 수요지는 차량의 1회 방문만 허용한다.

셋째, 각 차량의 경로에 포함된 수요지의 수요량의 합은 적재

용량을 초과할 수 없다.

넷째, 각 서비스 시간대의 경로별 교통상황은 알려져 있다.

다섯째, 우회경로 이용시에는 최단경로 교통상황 속력보다 상위 수준(정체 → 지체, 지체 → 원활)의 교통상황 속력을 적용한다.

### 2.2 용어 정의 및 모형 구성

본 모형에서 사용되는 용어 정의는 다음과 같다.

$N$ : 수요지의 수 ( $N = 0, 1, 2, \dots, n$ ,  $N = 0$ : 차고지)

$i, j$ : 수요지( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ,  $i = j = 0$ : 차고지)

$K$ : 서비스 시간대( $k = 1$ : 출근 시간대,

$k = 2$ : 오후 시간대,  $k = 3$ : 퇴근 시간대)

$L$ : 교통 상황 ( $l = 1$ : 원활,  $l = 2$ : 지체,  $l = 3$ : 정체)

$M$ : 차량의 수

$t_{ijkl}$ :  $k$ 서비스 시간대에  $l$ 교통상황 하에 수요지

$i$ 지점에서  $j$ 지점으로 이동 시간

$x_{ijklm}$ : 차량  $m$ 이  $k$ 서비스 시간대에  $l$ 교통상황 하에

수요지  $i$ 지점에서  $j$ 지점으로 운행하면 1, 운행

하지 않으면 0

$s_i$ : 수요지  $i$ 에서의 서비스 시간

$D_i$ : 수요지  $i$ 에서의 수요량

$C$ : 차량의 적재용량

$T$ : 수요지들의 부분집합

본 연구에서 제시하는 목적함수와 제약식은 다음과 같다.

Minimize

$$Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M t_{ijkl} x_{ijklm} + \sum_{i=1}^N s_i \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M x_{ijklm} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M x_{ijklm} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L x_{ipklm} - \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L x_{pjklm} = 0 \quad p = 1, 2, \dots, N \text{ and } m = 1, 2, \dots, M \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^N D_i \left( \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L x_{ijklm} \right) \leq C \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (5)$$

$$\sum_{j=1k=1l=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L x_{0jklm} \leq 1 \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (6)$$

$$\sum_{i=1k=1l=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L x_{i0klm} \leq 1 \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (7)$$

$$\sum_{i=1j=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ijklm} \leq |T| - 1 \quad \forall k, l, m \quad (8)$$

$$x_{iiklm} = 0, \quad x_{jjklm} = 0 \quad \forall i, j, k, l, m \quad (9)$$

$$x_{ijklm} = \begin{cases} 1, & \text{차량 운행시} \\ 0, & \text{차량 미운행시} \end{cases} \quad (10)$$

본 모형의 목적함수 식 (1)은 차량의 이동 시간과 수요지에서 서비스 시간의 합인 총 소요 시간을 최소화시키는 것이다. 제약식 (2)와 (3)은 각 수요지에는 한 대의 차량만이 방문할 수 있다는 1회 방문의 제약을 의미하고, 제약식 (4)는 차량이 임의의 수요지에 도착하여 서비스 종료 후에 반드시 다른 수요지나 차고지로 출발해야 한다는 차량 흐름의 연속성을 나타낸다. 제약식 (5)는 각 경로에 포함된 수요지의 총 수요량은 차량의 적재용량을 초과할 수 없음을 의미하고, 제약식 (6)과 (7)은 차고지를 출발하는 가용차량이 반복 운행할 수 없음을 의미한다. 제약식 (8)은 부분 경로로 가는 현상을 방지하기 위한 제약식이며, 제약식 (9)는 제자리 운행하는 경우는 없다는 의미이고, 제약식 (10)은 수요지간의 차량운행이 있으면 1, 없으면 0을 나타내는 제약이다.

### 3. 하이브리드 유전자 알고리즘 모형 구축

본 연구에서는 서비스 시간대별 교통상황을 고려하여 총 소요 시간을 최소화하는 하이브리드 유전자 알고리즘을 구축하였으며, 수행절차는 다음 <Figure 3>과 같다.

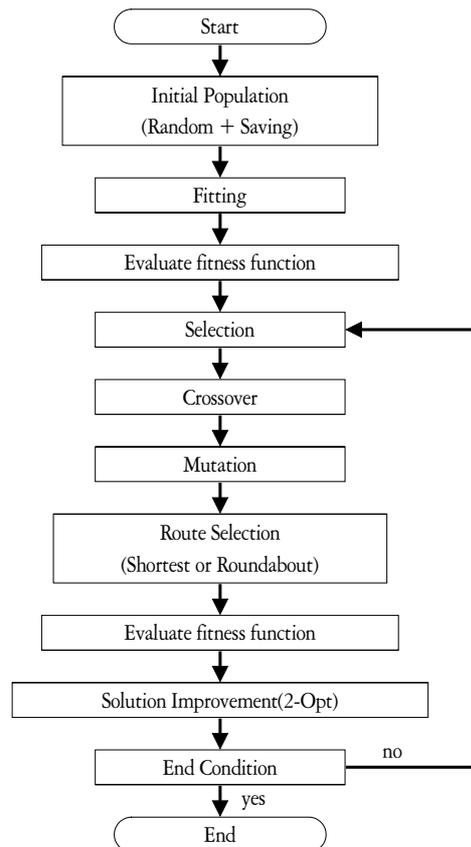


Figure 3. Hybrid Genetic Algorithm

### 3.1 유전자 표현

본 연구의 유전자 표현은 다음 <Table 1>과 같이 2개의 스트링으로 이루어진 이중구조로 설정하였다. 수요지는 수요지의 번호를 나타내지만 불필요한 부분으로 실제 구성은 하지 않는다. 우선순위는 각 수요지의 방문 우선순위를 표현하였고, 차량번호는 각 수요지의 방문차량을 나타내는 것으로 유전자에서 표현된 개체는 차량번호를 의미한다.

Table 1. Genetic Representation

| Customer       | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Priority       | 2 | 8 | 5 | 6 | 4 | 1 | 3 | 7 |
| Vehicle Number | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 |

예를 들어, <Table 1>에서 3번 차량의 경우는 차량 경로가 D(Depot)-4-6-8-D인데, 방문 우선순위를 고려하면 D-6-4-8-D인 경로를 구성하게 된다. 위와 같이 각 수요지에 차량을 할당하는 경우 할당된 노드의 수요량은 차량 용량을 초과할 수 없다는 제약은 만족해야 하는데, 이는 수요지를 생성 후 차량번호를 랜덤 생성 할당하는 방식을 사용하여 초기 해에서 실행 불가능해가 생성시 다음과 같은 과정을 통하여 해의 탐색을 유도하였다.

### 3.2 초기 모집단

초기 모집단을 생성하는 방법으로는 문제의 특성에 따라 발견적 기법, 임의생성 기법, 혼용 기법이 사용되는데 본 모형에서는 임의생성 기법과 Saving Heuristic 기법을 이용하여 구성하였다.

임의생성 기법은 다양한 해 공간을 탐색할 수 있다는 장점이 있으나 실행 불가능해가 다수 포함되어 효과적인 해의 탐색이 어려운 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 임의 생성된 초기 해를 바탕으로 각 차량에 대한 수요지를 순서대로 방문하여 적재용량의 제약조건을 만족하면 차량의 경로에 포함시키고, 제약조건을 만족하지 못하면 다른 수요지로 바꾸어 주었다. 이는 차량과 수요지간의 재결합 과정으로 차량의 용량제약을 만족하도록 초기 해를 교정하여 실행 불가능해를 실행 가능해로 바꾸어 주었다.

Saving Heuristic 기법은 더 경제적인 경로를 형성할 수 있도록 유도하여 우수한 초기 해를 산출해주는 역할을 하며 세부 산출절차는 다음 <Figure 4>와 같다.

<Figure 4>의 (a)과 같이 차고지에서 각 수요지로 한대씩 배차하는 경우와 <Figure 4>의 (b)와 같이 수요지  $i$ 에 배차된 차량이 수요지  $j$ 를 경유해서 복귀한다고 할 때 (a)와 (b)의 거리 차이가 절약( $S_{ij}$ : Saving)이며, (a)의 경우 총 이동 거리가  $d_{0i} + d_{0j} + d_{j0}$ 이고, (b)의 경우 총 이동 거리가  $d_{0i} + d_{ij} + d_{j0}$ 이므로 절약  $S_{ij}$ 는  $d_{0i} + d_{0j} - d_{ij}$ 로 나타낼 수 있다.

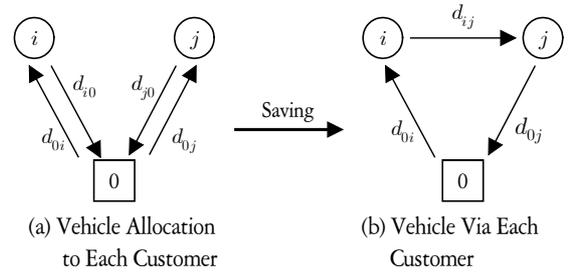


Figure 4. Saving Heuristic

절약 값을 구한 후 크기의 내림차순으로 정리하여 절약목록을 작성하고, 이 절약목록에서 절약이 가장 큰 수요지로 경로를 형성하는데 이는 최초 구성된 경로보다  $S_{ij}$ 만큼의 거리가 절약된다.

### 3.3 적합도 평가

적합도 평가는 목적함수를 만족시키는 정도를 의미한다. 본 연구의 목적함수인 총 소요 시간의 최소화를 위해 적합도 함수는 총 소요 시간이 적을수록 높은 적합도 값을 얻을 수 있도록 다음 식 (11)과 같이 총 소요 시간의 역수로 하였다.

$$fitness = \frac{1}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=0}^K \sum_{l=0}^L \sum_{m=0}^m t_{ijkl} x_{ijklm} + \sum_{i=1}^N s_i} \quad (11)$$

### 3.4 선별

선별은 적자생존의 자연법칙에 기초하여 환경에 대한 적응도에 의해 현 세대의 모집단으로부터 다음 세대에 생존할 개체를 선택하는 과정이다. 세대별 우수한 해의 생존을 보장하고, 지역해로의 수렴을 방지하기 위하여 적합도가 작은 해의 생존을 확률적으로 보장해주는 룰렛 휠 방법을 적용하였으며, 집단 내에서 가장 강한 개체가 다음 세대로 변경되지 않고 전달되는 것을 보장하기 위하여 세대별 우수한 해는 반드시 생존할 수 있도록 하는 엘리트 보존전략을 각각 적용하였다.

### 3.5 교차

교차는 두 부모해의 유전자를 조합하여 자손 유전자를 생성해 나가는 과정으로 부모해보다 우수한 자손 유전자를 만들어 낼 수 있다는 장점이 있다. 차량의 방문 우선순위는 차량 경로를 구성함에 있어서 우선순위가 중복되면 차량의 경로가 형성되지 않으므로 순서교차를 실시하였으며, 각 수요지에 할당된 차량번호는 2점 교차를 실시하였다.

차량의 방문 우선순위의 순서교차 절차는 다음과 같다. 단계 1: 각각의 개체들에게 난수를 발생시켜 교차율과 비교하여 개체별로 교차대상자를 선정한다.

단계 2: 교차대상자로 선정된 개체들에 대하여 짝을 지워준다.  
 단계 3: 짝지어진 개체들에 대하여 2개의 절단점을 무작위로 선정 후, 절단점내의 유전인자를 상대방 개체에게 상속하며, 다음 <Figure 5>와 같다.

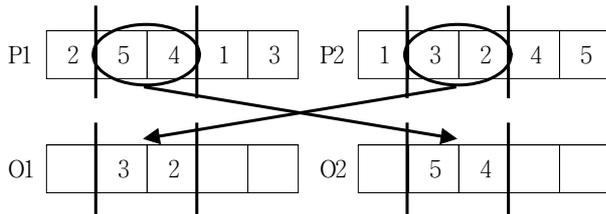


Figure 5. Inheritance of the Genes Between the Break Points

단계 4: 방문우선순위의 빈칸에는 두 번째 절단점 이후부터 부모의 유전인자를 차례대로 나열 후 상대방 개체로부터 상속된 유전인자는 제거하고, 상속되지 않은 유전자를 두 번째 절단점 이후부터 순서대로 채워 넣으며, 다음 <Figure 6>과 같다(P1 개체에서 두 번째 절단점 이후부터 인자를 나열하면 1-3-2-5-4가 되며, 여기에 P2로부터 상속된 2와 3을 제거하면 1-5-4가 남게 되고, 남은 인자를 두 번째 절단점부터 채우면 4-3-2-1-5가 된다).

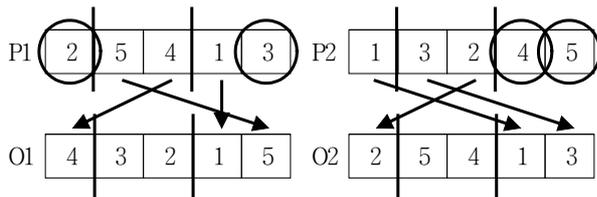


Figure 6. Filling with the Remaining Genes

차량번호의 2점 교차 절차는 다음 <Figure 7>과 같다.

단계 1: 선정된 두 부모해를 대상으로 교차율에 의한 실시여부를 결정한다.  
 단계 2: 임의의 두 절단점을 선정하여 처음, 중간, 끝의 3부분으로 구분한다.  
 단계 3: O1은 P1에서 처음과 끝 부분을 상속받고, P2는 중간 부분을 상속받는다.

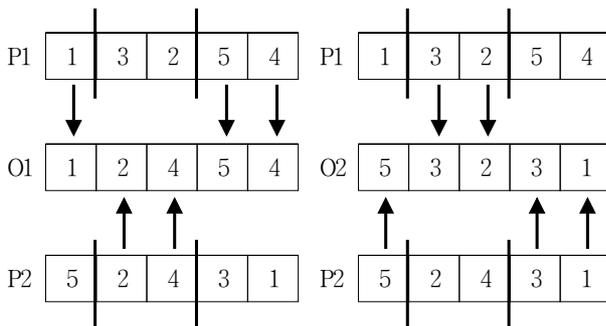


Figure 7. Two-Points Crossover

### 3.6 돌연변이

교차와 같이 차량의 방문 우선순위와 차량번호의 돌연변이 방법도 상이하다. 차량의 방문 우선순위는 돌연변이를 통해 중복되는 유전자가 발생하지 않도록 교환 돌연변이를 적용하였고, 차량번호는 같은 차량이 할당되어도 무방하여 점 돌연변이를 적용하였다.

차량의 방문 우선순위의 교환 돌연변이 절차는 다음 <Figure 8>과 같다.

단계 1: 돌연변이 확률에 의해 그 실시 여부를 결정한 후, 임의의 두 개체를 선정한다.

단계 2: 두 개체를 서로 교환한다.

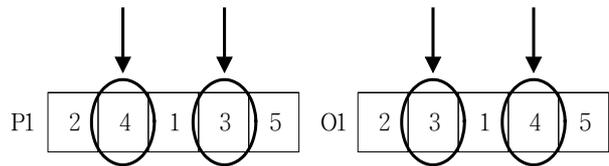


Figure 8. Gene Exchange Mutation

차량번호의 점 돌연변이 절차는 다음 <Figure 9>와 같다.

단계 1: 돌연변이 확률에 의해 그 실시 여부를 결정한 후, 임의의 한 개체를 선정한다.

단계 2: 선택된 개체의 위치에 0에서 차량의 수 사이의 난수를 발생시켜 선택된 개체를 변경한다.

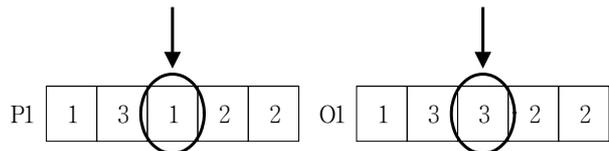


Figure 9. Point Mutation

### 3.7 경로의 선정

차량의 이동 시간을 단축하기 위하여 다음 <Figure 10>과 같이 모든 차량은 이전 수요지에서 서비스를 종료한 후 다음 수요지로 이동할 경로의 교통상황을 고려하여 필요시 우회경로를 선정하며, 경로의 선정 절차는 다음과 같다.

단계 1: 모든 차량은 이전 수요지에서 다음 수요지로 출발하기 전에 이동할 경로의 교통상황을 확인한다.

단계 2: 교통상황이 원활하면 최단경로를 이용하고, 지체 또는 정체시에는 우회경로를 선정한다.

단계 3: 우회경로가 존재하면 최단경로와 우회경로의 이동 시간을 비교한다.

단계 4: 우회경로의 이동 시간이 길면 최단경로를 이용하고, 짧으면 우회경로를 이용하여 다음 수요지로 이동한다.

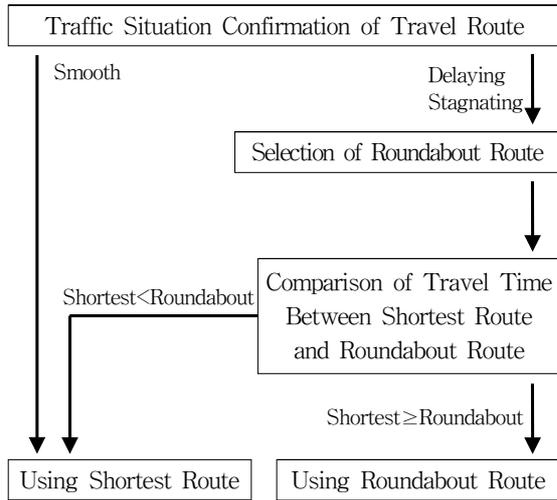


Figure 10. Route Selection Process

3.8 해 개선

구성된 차량경로를 개선하기 위하여 차량의 경로를 조정하는 방법으로 2-Opt 기법을 적용하였다. 2-Opt 기법은 차량 경로의 임의의 두 지점을 바꾸어 적합도 개선 여부를 확인한 후 적합도가 개선되면 그 결과를 반영하는 지역탐색 알고리즘으로 다음 <Figure 11>과 같으며, 매 세대별 적합도 평가 이후 가장 우수한 해에 적용함으로써 세대 초기부터 우수한 해를 얻을 수 있었다.

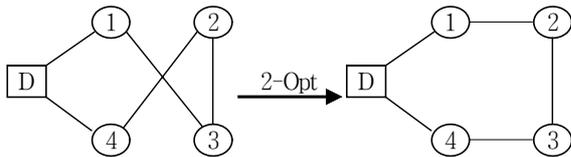


Figure 11. 2-Opt

3.9 유전 파라미터

유전자 알고리즘이 확률과 파라미터에 의하여 다양한 결과를 발생시키기 때문에 유전자 알고리즘의 성능을 좌우하는 몇 가지 요인들을 고려해야 한다. 이러한 요인들로는 모집단 크기(Population size), 교차 확률(P<sub>c</sub>), 돌연변이 확률(P<sub>m</sub>), 부호화(coding) 방법 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 유전 파라미터들이 적합도에 미치는 영향을 반복 실험을 통해 비교한 후 알고리즘과 문제의 특성에 맞는 파라미터를 적용하였으며 본 연구의 유전 파라미터는 다음 <Table 2>와 같다.

Table 2. Genetic Parameters

| Genetic Parameters | Population Size | Crossover Rate(P <sub>c</sub> ) | Mutation Rate(P <sub>m</sub> ) | Number of Generations |
|--------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Value              | 100             | 0.7                             | 0.02                           | 1,000~3,000           |

4. 수리모형 검증 및 알고리즘 결과분석

본 연구에서는 다음 <Table 3>과 같이 서울시청을 차고지로 하여 서울·경기지역에 위치한 32개 대학교를 수요지로 최단 및 우회경로를 구성하였으며, 거리는 실제 주행거리를 사용하였고, 각 수요지에서의 서비스 시간은 10분, 차량의 용량은 150으로 하여 실험을 수행하였다.

서비스 시간대는 출근·오후·퇴근 시간대의 3개 시간대로 지정하고, 0~100분을 출근 시간대, 100~300분을 오후 시간대, 300~400분을 퇴근 시간대로 구분하였다. 교통상황은 원활·지체·정체의 3개 상황으로 구분하고, 원활은 60km/h, 지체는 30km/h, 정체는 15km/h로 적용하였으며, 서비스 시간대별 각 경로의 교통상황은 다음 <Table 4>와 같다.

본 연구에서 제시한 수리모형의 검증을 위해 ILOG CPLEX

Table 3. Experimental Example

| Point | Customer                             | Demand | Point | Customer                    | Demand | Point | Customer                        | Demand |
|-------|--------------------------------------|--------|-------|-----------------------------|--------|-------|---------------------------------|--------|
| 0     | Seoul City Hall(Depot)               | 0      | 11    | Seoul National Univ.        | 13     | 22    | Dong Duk women's Univ.          | 11     |
| 1     | Korea National Defense Univ.         | 9      | 12    | Chung Ang Univ.             | 9      | 23    | Hankuk Univ. of Foreign Studies | 19     |
| 2     | Korea Aerospace Univ.                | 12     | 13    | Chong Shin Univ.            | 25     | 24    | The Univ. of Seoul              | 23     |
| 3     | In Ha Univ.                          | 2      | 14    | A Jou Univ.                 | 58     | 25    | Kwang Woon Univ.                | 14     |
| 4     | Univ. of Incheon                     | 4      | 15    | Univ. of Suwon              | 3      | 26    | Seoul women's Univ.             | 9      |
| 5     | The Catholic Univ. of Korea(Songsim) | 17     | 16    | Sung Kyun Kwan Univ.(Suwon) | 1      | 27    | Han Yang Univ.                  | 29     |
| 6     | Sang Myung Univ.                     | 21     | 17    | Sook Myoung Women's Univ.   | 8      | 28    | Kon Kuk Univ.                   | 20     |
| 7     | Myong Ji Univ.(Seoul)                | 15     | 18    | Dong Guk Univ.              | 19     | 29    | Se Jong Univ.                   | 17     |
| 8     | Yon Sei Univ.                        | 30     | 19    | Korea Univ.                 | 26     | 30    | Dan Kook Univ.(Jukjeon)         | 13     |
| 9     | Hong Ik Univ.                        | 28     | 20    | Duk Sung women's Univ.      | 12     | 31    | Myong Ji Univ.(Yongin)          | 7      |
| 10    | So Gang Univ.                        | 23     | 21    | Kook Min Univ.              | 8      | 32    | Kyungwon Univ.                  | 4      |

Table 4. Traffic Situation for Each Route by Service Time Zones

| Service Time Zone(Min.)    | Traffic Situation(Speed) | Routes  |
|----------------------------|--------------------------|---|
| Going to Work<br>(0 ~ 100) | Smooth(60km/h)           | 0→1/2/6/7/19/20/21/22/23/24/25/26, 1→2, 2→1, 6→7, 19→20/21/22, 20→21/22, 21→22, 23→24/25/26, 24→25/26, 25→26, 28→29   |
|                            | Delaying(30km/h)         | 3→4, 4→3, 8→9/10, 9→8/10, 10→8/9, 14→15/16, 15→14/16, 16→14/15, 17→18, 18→17, 30→31/32, 32→30/31  |
|                            | Stagnating(15km/h)       | The rest of routes except smooth and delaying   |
| Afternoon<br>(100 ~ 300)   | Smooth(60km/h)           | The rest of routes except delaying and stagnating   |
|                            | Delaying(30km/h)         | 8→9/11/23/24/25/26/27/28/29, 9→8/11/23/24/25/26/27/28/29, 11→19/20/21/22, 12→19/20/21/22, 13→19/20/21/22, 19→11/12, 20→11/12, 21→11/12, 22→11/12, 3/4/5/14/15/16/30/31/32→0 |
|                            | Stagnating(15km/h)       | 17→18, 18→17  |
| Going Home<br>(300 ~ 400)  | Smooth(60km/h)           | 1→2, 2→1, 30→31, 32→30/31   |
|                            | Delaying(30km/h)         | The rest of routes except smooth and stagnating   |
|                            | Stagnating(15km/h)       | 3/4/5/14/15/16/30/31/32→0, 8→9/10, 9→8/10, 10→8/9, 11→12/13, 12→11/13, 13→11/12   |

와 하이브리드 유전자 알고리즘을 이용하여 수요지 5개, 차량 2대로 구성된 경로의 총 소요 시간을 산출하여 각각 비교하였으며, 수리모형 검증 결과는 다음 <Table 5>와 같다.

Table 5. Validation of Mathematical Model

| Result                       | ILOG CPLEX | Hybrid GA |
|------------------------------|------------|-----------|
| Total Consumption Time(Min.) | 221.01     | 221.01    |
| Computing Time(Sec.)         | 0.15       | 1.32      |

검증 결과 ILOG CPLEX의 산출결과 및 하이브리드 유전자 알고리즘이 동일한 결과 값을 도출하여 본 연구에서 제시한 수리모형의 타당성을 입증하였다.

본 연구에서 제안한 해법의 유효성을 평가하기 위하여 서비스 시간대별 교통상황을 고려하지 않고 속력을 60km/h로 가정하여 각각 발견적 해법인 Nearest Neighbor Search(NNS), Saving 알고리즘(SA), 유전자 알고리즘(GA), 하이브리드 유전자 알고리즘(HGA)으로 경로를 구성한 후 총 이동 거리 및 소요 시간을 비교하였으며, 비교 결과는 다음 <Table 6>과 같다.

실험 결과 다른 해법에 비해 하이브리드 유전자 알고리즘이 총 이동 거리, 총 소요 시간 면에서 우수한 해를 제시한 것으로 확인되었다. 이는 초기 모집단 형성시 Saving Heuristic을 적용함으로써 우수한 초기 해를 생성할 수 있었고, 적합도 평가 이후 지역탐색 알고리즘인 2-Opt 과정을 통하여 해의 개선이 가속됨으로써 수렴 속도가 매우 빠르며, 우수한 해를 찾을 수 있었다.

하이브리드 유전자 알고리즘으로 서비스 시간대별 교통상황을 고려하지 않고 경로를 먼저 생성한 <Table 6>의 차량경로에 서비스 시간대별 교통상황을 적용하여 합산한 결과 (HGA-1)와 서비스 시간대별 교통상황을 고려하여 생성한 차량경로(HGA-2)를 비교하면 다음 <Table 7>과 같다.

Table 6. Result of Experiment that does not consider Traffic Situation

| Method | Vehicle Routes                          | Total                |                         |
|--------|---|----------------------|-------------------------|
|        |   | Travel Distance (km) | Consumption Time (Min.) |
| NNS    | D-8-6-9-17-7-18-10<br>-16-32-D          | 779.26               | 1,099.26                |
|        | D-19-23-27-24-4-21<br>-28-12-22-D       |                      |                         |
|        | D-29-5-2-30-1-3-20<br>-13-11-15-26-25-D |                      |                         |
|        | D-31-14-D                               |                      |                         |
| SA     | D-14-15-16-31-30-32<br>-28-29-26-25-D   | 370.78               | 690.78                  |
|        | D-3-4-5-11-13-12-17<br>-1-2-7-9-21-D    |                      |                         |
|        | D-23-24-22-20-19-27-18-D                |                      |                         |
|        | D-8-10-6-D                              |                      |                         |
| GA     | D-18-28-29-26-25-D                      | 352.27               | 672.27                  |
|        | D-27-32-30-31-14-15<br>-16-13-12-D      |                      |                         |
|        | D-19-21-20-22-23-24-D                   |                      |                         |
|        | D-8-1-2-7-6-D                           |                      |                         |
| HGA    | D-17-10-9-4-3-5-11-D                    | 340.37               | 660.37                  |
|        | D-16-15-14-31-30-32<br>-28-29-26-25-D   |                      |                         |
|        | D-5-4-3-11-13-12-17<br>-1-2-7-6-D       |                      |                         |
|        | D-21-20-22-19-24-23<br>-27-18-D         |                      |                         |
|        | D-10-9-8-D                              |                      |                         |

Table 7. Result of Experiment

| Method | Vehicle Routes                        | Total                |                         |
|--------|---------------------------------------|----------------------|-------------------------|
|        |                                       | Travel Distance (km) | Consumption Time (Min.) |
| HGA-1  | D-16-15-14-31-30-32<br>-28-29-26-25-D | 340.37               | 984.41                  |
|        | D-5-4-3-11-13-12-17<br>-1-2-7-6-D     |                      |                         |
|        | D-21-20-22-19-24-23<br>-27-18-D       |                      |                         |
|        | D-10-9-8-D                            |                      |                         |
| HGA-2  | D-16-15-14-31-30-32<br>-28-29-26-25-D | 351.12               | 796.25                  |
|        | D-4-3-5-11-13-12-17<br>-2-1-9-10-D    |                      |                         |
|        | D-19-20-21-22-23-24<br>-27-18-D       |                      |                         |
|        | D-6-7-8-D                             |                      |                         |

비교 결과 HGA-2의 경우 서비스 시간대별 교통상황을 고려하여 경로를 생성하고, 교통상황에 따라 경로의 선정 과정을 거쳐 우회경로를 이용하기 때문에 HGA-1에 비하여 총 이동 거리가 10.75km 증가하였으나, 188.16분의 총 소요 시간을 단축할 수 있었다.

HGA-1과 HGA-2의 차량경로에 적용된 교통상황은 다음 <Figure 12>와 같다.

HGA-2의 경우, 적용된 교통상황은 원활 29회, 지체 5회, 정체 2회로 총 소요 시간을 최소화하기 위한 교통상황을 고려하여 경로를 생성하고, 우회경로를 이용하므로 HGA-1의 경우보다 양호한 교통상황 경로가 적용되었다.

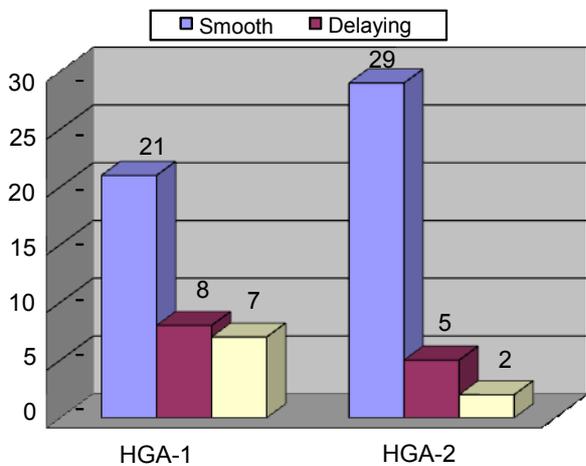


Figure 12. The Number of Traffic Situation

경로의 선정은 총 7회 있었으며, 최단경로와 우회경로의 총

소요 시간을 비교하여 4회는 최단경로를 이용하였고, 3회는 우회경로를 이용하였으며, 본 연구의 최종해 차량경로는 다음 <Figure 13>과 같다.

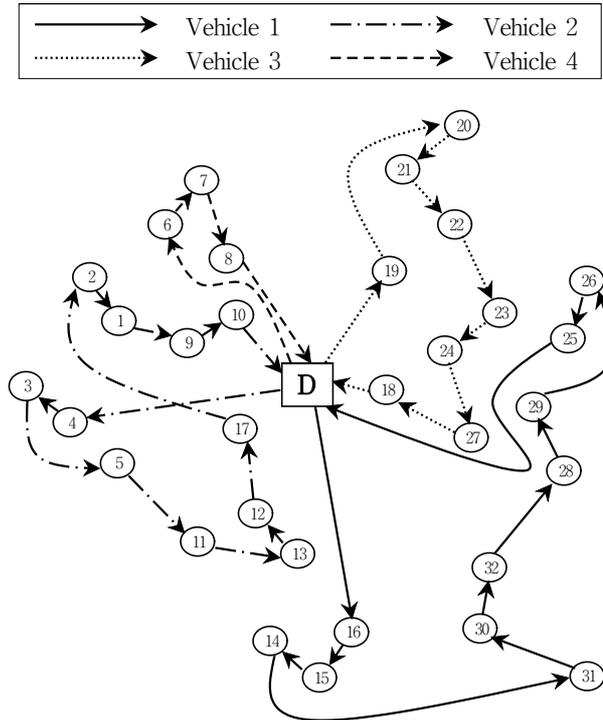


Figure 13. Best Vehicle Routes

### 5. 결론

지금까지의 대부분 VRP 연구는 차량경로를 선정하는 기준으로 수요지간의 이동 거리와 차량의 평균 이동 속도를 바탕으로 경로를 구성함으로 교통상황과 같은 동적인 외부환경의 반영이 미흡하였다. 본 연구에서는 출근·오후·퇴근의 서비스 시간대별로 도심지에서 발생하는 원활·지체·정체 교통상황을 고려한 차량경로문제를 제시하였으며, 기존 해법에 비해 다소 이동 거리는 증가하였으나 우회경로의 선정을 통하여 총 소요 시간을 단축할 수 있었다. 또한 본 연구에서 제시한 하이브리드 유전자 알고리즘 해법의 유효성을 입증하기 위해 Nearest Neighbor Search 및 Saving 알고리즘, 유전자 알고리즘과 총 이동 거리 및 소요 시간을 비교하였다.

본 연구의 하이브리드 유전자 알고리즘은 초기 모집단 형성 시 Saving Heuristic을 적용함으로써 우수한 초기 해를 생성할 수 있었고, 적합도 평가 이후 지역탐색 알고리즘인 2-Opt 과정을 통하여 해의 개선이 가속됨으로써 수렴 속도가 매우 빠르며, 우수한 해를 찾는 것으로 확인되었다.

향후 연구방향으로 시간대의 세분화와 도로별 실제 교통 데이터를 이용하여 경로를 구성하는 현실성 있는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- Clark, G. and Wright, J. (1964), Scheduling of vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, *Operations Research*, 12, 568-581.
- Dantzig, G. B. and Ramser, J. H. (1959), The Truck Dispatching Problem, *Management Science*, 6, 80-91.
- Goldberg, D. and Lingle, R. (1985), Alleles, Loci, and The Traveling Salesman Problem, Proceedings of the First *International Conference on Genetic Algorithms and their applications*, 154-159.
- Hill, V. and Benton, W. C. (1992), Modeling Intra-City Time-Dependent Travel Speeds for Vehicle Scheduling Problems, *Journal of Operational Research Society*, 43, 343-351.
- Malandraki, C. and Daskin, M. S. (1992), Time Dependent Vehicle Routing Problems: Formulation, Properties and Heuristic Algorithms, *Transportation Science*, 26(3), 185-200.
- Moon, G. J. and Yang, S. M. (2004), Development of an Optimum Operation Policy under 3 Different Time Varying Speed, *Journal of the Korea Institute of Plant Engineering*, 9(2), 145-154.
- Yun, T. S., Jeong, S. J., and Kim, K. S. (2007), Vehicle Routing Problem with Delay Time in the Downtown, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 16(1), 39-47.



## 김기태

해군사관학교 기계공학과 학사  
국방대학교 운영분석학과 석사  
현재 : 국방대학교 운영분석학과 박사과정  
관심분야 : 최적화, 경로문제 응용, 메타 휴리스틱, 신뢰도



## 전건욱

공군사관학교 전자공학과 학사  
고려대학교 산업공학과 석사  
University of Louisville 산업공학박사  
현재 : 국방대학교 운영분석학과 부교수  
관심분야 : 최적화기법 응용, 일정계획, 신뢰도 분석, 셀형 제조시스템