

## 유전자알고리즘 및 발견적 방법을 이용한 차량운송경로계획모델\*

### Integrated Vehicle Routing Model for Multi-Supply Centers Based on Genetic Algorithm

황흥석\*\*

Hwang Heung-Suk

#### Abstract

The distribution routing problem is one of the important problems in distribution and supply center management. This research is concerned with an integrated distribution routing problem for multi-supply centers based on improved genetic algorithm and GUI-type programming. In this research, we used a three-step approach; in step 1 a sector clustering model is developed to transfer the multi-supply center problem to single supply center problems which are more easy to be solved, in step 2 we developed a vehicle routing model with time and vehicle capacity constraints and in step 3, we developed a GA-TSP model which can improve the vehicle routing schedules by simulation. For the computational purpose, we developed a GUI-type computer program according to the proposed methods and the sample outputs show that the proposed method is very effective on a set of standard test problems, and it could be potentially useful in solving the distribution routing problems in multi-supply center problem.

**Key Words :** Vehicle Routing Problem, Genetic Algorithm, Heuristics.

\* 동의대학교 물류시스템연구실 지원에 의하여 연구되었음.

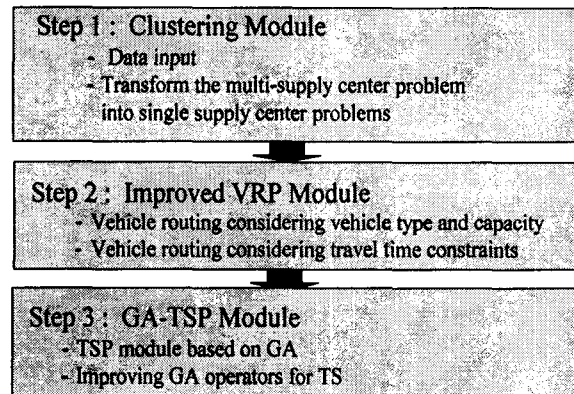
\*\* 동의대학교 기계산업시스템공학부 교수

## 1. 개요

본 연구는 Heuristic 알고리즘 및 유전자알고리즘(GA: Genetic Algorithm)을 이용하여 통합차량운송계획 문제를 3 단계의 모델로 개발하였다. 전통적인 차량경로(VRP : Vehicle Routing Problem) 문제는 단일 물류센터에서 차량의 보유대수가 정해져 있고, 고객의 위치와 수요가 알려져 있는 경우 각 차량은 물류센터를 출발하여 차량의 용량을 초과하지 않는 범위 내에서 고객을 방문하고, 물류센터로 되돌아오는 경로 계획문제이다. 또한 각 고객은 확실하게 한 대의 차량에 의해 서비스를 받는다. 일반적으로 VRP 문제의 목적은 주어진 조건에서 다양한 고객의 요구 조건을 만족하는 최적 차량경로를 찾는 문제이다. VRP에 대한 기존의 연구는 최적해법과 근사해법의 두 부류로 나눌 수 있다[10]. 최적해법에 관한 연구는 절단평면법(Cutting Plane Method) 및 분지한계법을 응용한 윤가 대부분이며 이중 Christofides[3] 및, Laporte[10]와 Miliotis[12] 등의 연구가 이러한 부류에 속한다. 이러한 최적해법은 문제의 규모가 커질 경우 계산량이 지수적으로 증가하게 된다. VRP에 대한 대부분의 연구는 실제로 현실적인 활용성을 고려한 효율적인 근사해법에 집중되어 왔다. Saving Heuristic 방법은 Clarke & Wright[5]가 최초로 제안한 후 널리 사용되어 오고 있으며, 이는 임의의 두 수요지점이 경유되지 않고 별도의 차량으로 배송될 때에 비하여 한 대의 차량에 의해 경유하여 배송될 때에 절약되는 비용의 규모에 따라 절약이 큰 수요지점끼리 우선적으로 경유하도록 결정해 가는 방법이다. 본 연구에서는 차량경로문제를 해결하기 위한 접근방법으로 이러한 기존의 연구들로부터 Saving 알고리즘을 개선하여 사용하였으며 유전자 알고리즘의 각종 연산자(Operators)들을 개선하여 사용하였다. 본 연구에서 제시한 모델은 <그림 1>과 같이 3-단계의 접근방법을 사용하였으며 이의 주요 단계별 내용은 다음과 같다 : 1) 다 물류센터의 문제해결을 위한 구역활당(Sector Clustering) 모델, 2) 경로계획모델(VRP Model), 및 3) 최적

운송순서계획모델(GA-TSP Model). 본 모델들을 다양한 운송환경에서, 거리산정 방법, 가용 운송장비 대수, 운송시간의 제한, 물류센터 및 운송지점의 위치와 수요량 등 다양한 파라미터들을 고려한 통합시스템으로서 객체지향적 프로그래밍기법을 기반으로 한 3 개의 Component로 구성된 GUI-type 프로그램을 개발하고 Sample 응용결과를 보였으며 기존의 모델 들 보다 우수한 결과를 보였다.

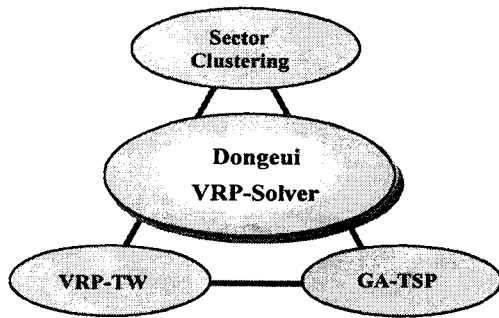
본 연구에서 개발한 통합 차량경로계획모델은 보완 연구 될 경우 지금까지의 다 물류센터의 문제를 여러 개의 단일 물류센터의 문제로 변환하여 사용자입장에서 쉽게 사용할 수 있도록 개발하였다.



<그림 1> 3-단계의 통합차량운송계획모델

## 2. 주요 Sub-Program의 구성

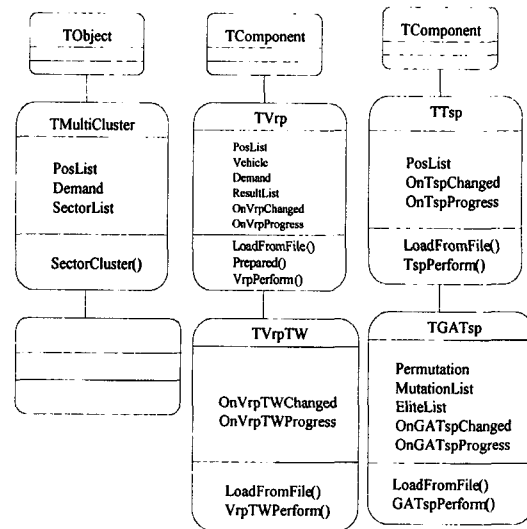
본 모델은 <그림 2>와 같이 3개의 서브모듈로 구성하였으며, 그 중에서 첫 번째 모듈은 구역활당(Sector Clustering)모듈로서 다 물류센터 문제를 단일 물류센터의 문제들로 변환해주는 모듈이다. 두 번째 모듈은 본 연구에서 개발한 VRP-Solver의 가장 중요한 연산모듈인 VRP 모듈로서 각 물류센터별 차량운송경로 구성(VRP)을 하며 세 번째 모듈은 각 운송경로별 운송순서 계획 모듈로서 유전자 알고리즘을 기반으로 최적



<그림 2> 주요 Sub-Module

운송경로순서를 구하는GA-TSP 모듈이다. 본 연구에서 개발한 S/W인 VRP-Solver의 프로그램은 입출력과 결과를 쉽게 볼 수 있도록 데이터베이스를 이용한 맵파일 위에 수요지가 입력되는 부분과 텍스트로 결과 값이 표시되어 이를 클립보드 상으로 복사하여 응용프로그램에서 쉽게 편집할 수 있도록 하였다. <그림 3>은 모델의 3개 모듈의 각 기능을 요약하였으며 본 연구에서 개발한 통합차량 운송계획시스템인 VRP-solver, Dongeui VRP-Solver는 객체 지향적 프로그램(Object Oriented Programming)기법을 기반으로 2개의 컴포넌트로 구성되어 있으며 기존의 개별 모델들 보다 효과적이고 통합모델로서 사용자가 사용하기 편리한 사용자 인터페이스에 중점을 두

고 개발되었다. S/W의 내부 운영의 측면에서 VRP-Solver는 다양한 기능 즉 편리성, 객체지향성, 통합 성 등을 최대한 고려하였다. 이 프로그램의 주요 컴포넌트 구성 도를 <그림 4>와 같이 요약하였다.



<그림 4> 통합운송계획프로그램의 Component 구조

### 3. 다-물류센터의 구역할당모듈 (Sector-Clustering Module)

본 모듈은 다 물류센터의 문제를 단일물류센터의 문제들로 변환하여 단일 물류센터의 차량운송경로 문제로 접근하였다. 그 첫 번째 단계인 구역할당모듈은 수요지와 각 물류센터간의 거리를 산정 하여 거리의 최소화 및 수요지의 수요량의 합( $\sum a_i$ )이 물류센터의 공급량을 초과하지 않는 범위 내에서 전체 운송계획이 적정화 되도록 구역을 할당한다. 이는 각 물류센터가 최적 조건에서 지원해야하는 조건에서 수요자들을 할당하여 줌으로서 단일 물류센터의 문제들로 변화하여 차량운송경로문제를 쉽게 접근할 수 있도록 하였다.

물류센터 Type	Module	Module의 역할
다-물류센터	1. Sector-Clustering Module	- 다-물류센터를 단일-물류센터로 구역할당하는 모듈
	2. VRP Module	- VRP Module (차량 종류별 운송경로계획 모듈) - VRPTW Module (차량운행 시간제약이 존재하는 차량운송경로계획 모듈)
단일-물류센터	3. GA-TSP Module	- Random TSP (경험적인 차량운행계획 모듈) - GA-TSP (유전자 알고리즘을 이용한 차량운행계획 모듈)

<그림 3> 통합운송계획모델의 3 Module

3.1 구역할당 알고리즘

구역할당 알고리즘은 각 물류센터에서 가까운 거리에 있는 수요지를 각 물류센터에 먼저 할당한다는 가정을 두고 있으며, 구역할당을 위한 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) 각 물류센터에서 모든 수요지점간의 거리를 계산하기 위하여 일반거리( *lp-distance*) 방법을 사용하였다.

$$D(X, P) = (|X - a_i|^p + |Y - b_i|^p)^{\frac{1}{p}}$$

여기서,

- $D(X, P)$  = 각 수요지별 물류센터의 거리,
- $(X, Y)$  = 각 물류센터의 좌표,
- $(a_i, b_i)$  = 각 수요지의 좌표

여기서 p 값은 도로의 직선 및 굴곡도 정도와 기타 교통 변화에 따른 요소들로부터 예측할 수 있다

- 2) 각 물류센터별로 계산된 모든 수요지의 거리 ( $c_{ij}$ )를 오름차순(Ascending)으로 정렬한다 (<표 1> 참조).

<표 1> 물류센터별 거리의 우선 순위(예)  
( ) : 거리

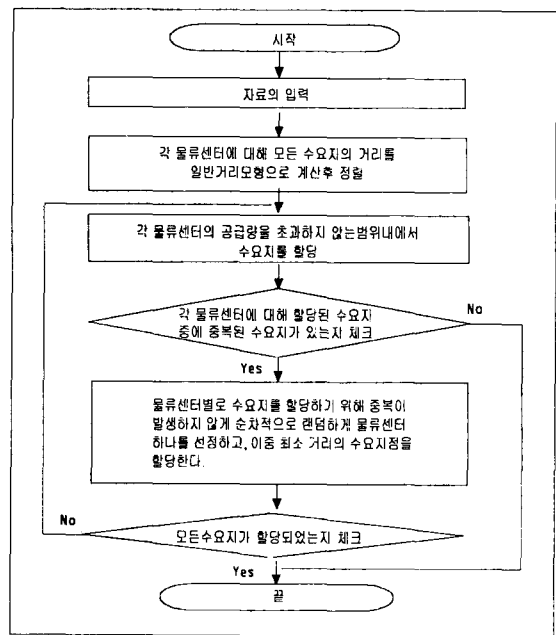
물류센터 수요지	$c_1$	$c_2$	$c_3$	수요량
1	2 (4)	3 (3)	3 (2)	80
2	1 (5)	4 (4)	2 (3)	70
3	5 (7)	1 (4)	1 (5)	60
4	3 (9)	5 (6)	5 (10)	70
5	4 (10)	2 (10)	4 (11)	80
6	7 (12)	6 (12)	10 (14)	40
7	9 (15)	8 (18)	8 (16)	60
8	10 (20)	7 (20)	9 (18)	100
9	8 (21)	9 (23)	7 (20)	30
10	6 (22)	10 (25)	6 (22)	70
공급량	300	300	200	

- 3) 물류센터의 공급능력을 고려하여 다시 수요지를 조정 할당한다.
- 4) 각 물류센터에 할당된 수요지를 비교하여 중복된 수요지가 있는지 체크한다. 만일 중복된 수요지가 없는 경우 최적해라고 가정하고 종료한다. 중복된 수요지가 있는 경우 단계 5)를 다시 수행한다.
- 5) 중복된 수요지들 중 물류센터와의 거리가 가장 작은 수요지 한 개를 선택한다.

각 물류센터와 수요지와의 거리와 수요량을 <표 1>과 같이 요약하였다. 각 셀의 숫자는 수요지 번호를 표시하며 괄호 안의 숫자는 해당 물류센터와의 거리이며 각 물류센터와의 거리가 적은 순으로 정렬하였다.

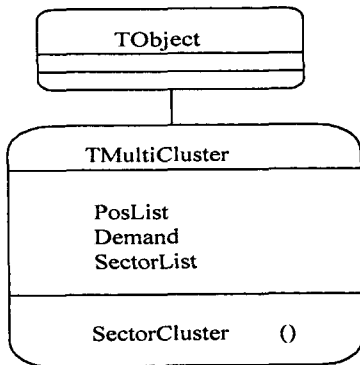
3.2 구역할당을 위한 전산 프로그램

<그림 5>는 구역할당 모델을 위한 각 단계별 절차를 개략적으로 설명한 흐름 도이다. 위의 구역할당 알고리즘에 따라 구역할당프로그램을 시



<그림 5> 구역할당 알고리즘의 흐름도

각화 프로그램으로 개발하였으며, 전산프로그램의 Class 구조도를 <그림 6>과 같이 표시하였다. 이를 각 Class별로 요약하면 다음과 같다. Sector-Clustering Class는 다 물류센터의 구역할당 모델을 처리하는 모듈로서 TObject로부터 상속을 받은 TMultiCluster의 Class 상속 도이다. 따라서 이 모듈의 Class의 기능은 각각 다음과 같다. 먼저 TMultiCluster는 Class 인스턴스 변수로서 PosList, Demand, Sector List가 있다. 그리고 PosList 변수는 수요지에 대한 좌표 값들을 처리하며, Streaming(데이터인 좌표값 등을 이동)이 가능하다. Demand 변수는 수요지별 수요량을 처리하는 Class이고, Sector List는 물류센터별로 구역할당이 이루어진 결과를 산출하는 Class이다. 모듈에서 실제적인 구역할당을 수행하는 메소드는 SectorCluster( ) 함수이다.

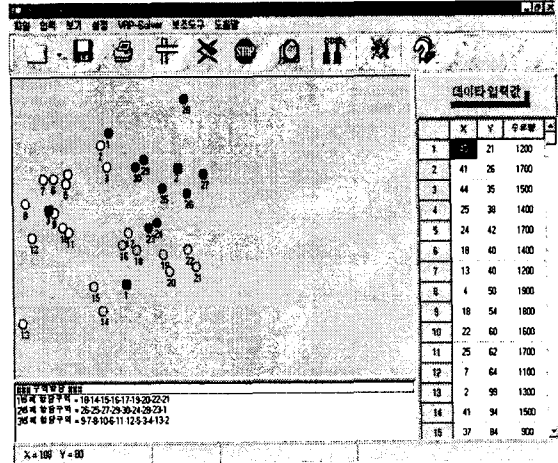


<그림 6> 구역할당 Class

3.3 구역 할당 프로그램의 응용

구역할당 모델의 응용으로 물류센터가 3개이고, 수요지가 30개인 경우의 다 물류센터의 구역할당을 위하여 적용하였다. 여기서 사용된 물류센터의 Data는 다음과 같다. 물류센터별로 구역할당 결과는 <그림 7>과 같으며, 물류센터의 색깔은 붉은 색 네모로 표시하였다.

물류센터 1 :좌표(52, 83), 공급가능량 20,000



<그림 7> 물류센터별 구역할당 결과

물류센터 2 :좌표(79, 36), 공급가능량 20,000  
 물류센터 3 :좌표(15, 53), 공급가능량 20,000

물류센터 1 : 18-14-15-16-17-19-20-23-21, 운반량 10700, 수요지의 색깔 청색  
 물류센터 2 : 26-25-27-29-30-24-28-22-1, 운반량은 12300 수요지의 색깔 파란색  
 물류센터 3 : 9-7-8-10-6-11-12-5-3-4-13-2, 운반량은 18300 수요지의 색깔 노란색

4. 차량운송경로계획 모듈 (VRP/GA-TSP Module)

4.1 VRP Module

본 연구에서 고려한 차량경로계획을 위한 수리적인 모델은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{v=1}^{NV} C_{ij} X_{ij}^v \\
 & \text{St.} \quad \sum_{i=1}^N \sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^v = 1 \quad (j=2, \dots, N) \\
 & \sum_{i=1}^N \sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^v = 1 \quad (i=2, \dots, N) \\
 & \sum_{i=1}^N X_{ip}^v - \sum_{j=1}^N X_{pj}^v = 0 \quad (v=1, \dots, NV; p=1, \dots, N)
 \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^N X_{iv}^v - \sum_{j=1}^N X_{jv}^v = 0 \quad (v=1, \dots, NV; p=1, \dots, N)$$

$$\sum_{i=1}^N d_i \left( \sum_{j=1}^N X_{ij}^v \right) \leq DV \quad (v=1, \dots, NV)$$

$$\sum_{i=1}^N t_i^v \sum_{j=1}^N X_{ij}^v + \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N t_{ij}^v X_{ij}^v \leq T_v \quad (v=1, \dots, NV)$$

$$\sum_{j=2}^N X_{1j}^v \leq 1 \quad (v=1, \dots, NV)$$

$$\sum_{i=2}^N X_{i1}^v \leq 1 \quad (v=1, \dots, NV)$$

$$X = [X_{ij}^v] \in S$$

$$X_{ij}^v = 0 \text{ or } 1 \text{ for all } i, j, v$$

여기서,  
 N=수요지점의 수  
 NV=차량의 수  
 DV=차량의 적재용량  
 T<sub>v</sub>=차량별 허용된 최대운행시간  
 D<sub>i</sub>=수요지별 수요량(D<sub>0</sub>=0)  
 t<sub>i</sub><sup>v</sup>=수요지별 요구된 도착시간(t<sub>0</sub><sup>v</sup>=0)  
 t<sub>ij</sub><sup>v</sup>=수요지 i에서 j까지 운행하는데 소요되는 시간(t<sub>ii</sub><sup>v</sup>=∞)  
 C<sub>ij</sub><sup>v</sup>=수요지 i에서 j까지 운행하는데 소요되는 비용  
 X<sub>ij</sub><sup>v</sup>=1, 즉 수요지 i, j가 차량 v에 의해 운행되었다면 "1" 그렇지 않으면 "0"이다.

본 연구에서는 Clarke & Wright[5]의 Saving 알고리즘을 개선하여 사용하였다. 임의의 두 수요지점이 경유되지 않고 별도의 차량으로 운송될 때에 비하여 한대의 차량에 의해 경유되어 운송될 때의 절약되는 비용의 규모에 따라 절약 값이 큰 수요지점이 우선적으로 경유하도록 수요지점을 할당하는 방법이다. 따라서 개선된 Saving 알고리즘의 절차는 다음과 같다.

- 1) 각 수요지 한 대의 차량에 의해 초기 할당이 가능하다고 가정한다.
- 2) 차량 종류별 적재용량(K<sub>v</sub>)을 고려하여 각 수요지의 수요량을 운송할 수 있는지를 결정한다. 즉, a<sub>i</sub> ≤ K<sub>v</sub> (i = 1, ..., n) 운송가능,

a<sub>i</sub> > K<sub>v</sub> (i = 1, ..., n) 분할운송

- 3) 물류센터 및 각 수요지간의 모든 거리 값을 계산한다.
- 4) 모든 수요지에 대해 Saving = t<sub>0,y</sub> + t<sub>0,z</sub> - t<sub>y,z</sub> 을 계산한다.
- 5) 수요지별 거리와 Saving 값은 2차원 행렬 테이블로 표시한다.
- 6) 계산된 2차원 행렬 테이블과 차량의 적재 용량을 고려한 수요지의 할당 가능한 수량을 표시한 테이블의 각 아이템이 초기 가능해(Initial Feasible Solution)가 되며, 절 약값 중에 최대 값을 찾아 그 수요지의 수요량이 차량의 적재 능력을 초과하지 않으면 초기경로에 할당한다.
- 7) 단계 6)에서 생성된 경로는 2차원 행렬 테이블에서 제거하고, 현재의 경로에 추가 가능한 경로를 찾는다. 세부적인 계산 절차는 다음과 같다.

① Clarke & Wright[5]의 Saving 알고리즘을 적용하여 Saving 값을 구한 2차원 행렬 테이블 상에서 수요지 P<sub>i</sub>, P<sub>j</sub> 각각의 경로와 연결 가능한 Saving 값이 가장 큰 경로를 선택한다.

$$S_{x,y} = t_{0,x} + t_{0,y} - t_{x,y} \text{ (saving 값)}$$

② 선택된 두 수요지 사이에 연결 가능한 각각의 W 수요지 하나를 삽입 하여 거리 절감 효과를 계산한다. 계산된 결과 중에서 거리절감 효과가 가장 큰 W 수요지 선택해서 두 수요지 사이에 삽입한다. 즉,

$$\text{초기상태 거리} : C_{ij} + C_{cw} + C_{wo}$$

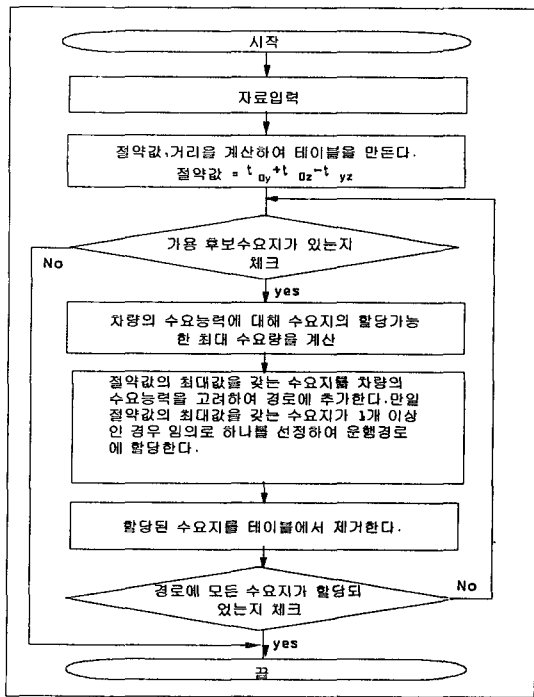
수요지 w 가 i 와 j 사이에 삽입될 경우의 절약 거리:

$$C_{ij} + C_{ow} + C_{wo} - C_{iw} - C_{wj} \text{ 중에서 큰 것을 선택한다.}$$

③ 물류센터별 모든 수요지 할당할 때가 단계 2)를 반복한다.

- 8) 모든 수요지가 할당되거나 차량이 부족한 경우 반복 루틴을 끝낸다.

개선된 Saving 알고리즘의 각 단계별 절차를 개략적으로 설명한 흐름 도를 표시하면 <그림 8>과 같다.



<그림 8> 개선된 Saving 알고리즘의 절차

#### 4.2 GA-TSP Module

본 모듈은 개선된 VRP Module을 상속받아서 차량운행거리(시간, 비용)를 최소화하는 모듈로서 다양성, 편리성, 통합 성이 우수하며, 개선된 유전자 알고리즘을 이용하여 최적차량순서계획을 산정 하는 모듈이다.

##### 1) 개선된 GA 연산자(Operator) 개발

본 모듈에서 제시한 개선된 인접인자 재결합 교차연산자(Improved Edge-2 Recombination Crossover Operator)는 수요지의 순서를 기반으로 하여 다음과 같은 절차에 의해 개선하였다.

Step 1 : 인접표(Edge List)를 작성한다.

Step 2 : 인접표가 가장 적은 수요지의 번호를 두 개를 선택한다.(인접표상의 수요지의 번호수는 4개에서 2개 사이에 존재한다.)

Step 3 : 선택된 수요지 중 번호순으로 자손 ( $O_1$ )과 자손 ( $O_2$ )을 생성한다.(만약, 동률인 경우 번호순별로 선택)

Step 4 : 인접한 수요지 중 “-”로 표시한 수요지 부터 번호순으로 선택하고, 인접 표에서 삭제한다.(만약, 인접 표에서 선택할 번호가 존재하지 않는 특수한 경우가 발생하면 숫자순서별 수요지 찾아 선택한다.)

Step 5 : 완전히 새로운 자손이 생성될 때까지 단계 4를 반복한다.

<표 2> 수요지 인접표의 예

수요지	Edge List
a	i -k g
b	-h j g
c	-e d g
d	-m g c
e	-k -c
f	-j m i
g	a b c d
h	-b i m
i	h j a f
j	-f i b
k	-e -a
m	-d f h

부모의 개체	자식의 개체
$P_1 = [g d m h b j f i a e c]$	$O_1 = [e c d m f j b h i a k g]$
$P_2 = [c e k a g b h i j f m d]$	$O_2 = [k a g b h i f j c e d m]$

“-” : 인접표상에서 중복되는(양측 부모로부터 인접 인자가 되는 수요지)

여기서 “-” 부호는 두 개의 부모 개체에서 모두 인접인자 인 경우이다.

기존의 인접인자 교차연산자는 인접정보(Edge List)를 이용하여 자손개체를 생성할 때 랜덤 하게 수요지 하나를 선택하여 생성하지만 본 연구에서 제시한 개선된 인접인자 재결합교차연산자

(Improved Edge-2 Recombination Crossover Operator)는 인접정보 중에서 부모개체의 특성을 가장 잘 나타내는 두 개체를 선택하여 이를 자손 개체로 하여 생성하는 방법이다. 이 방법을 사용하여 GA-TSP 모델을 개발하였다.

2) 돌연변이 연산자(Mutation Operator)

돌연변이 연산자는 발생하는 개체에 다양성을 부여하기 위해 사용되는 연산자이다. 이때 돌연변이 비율은 아주 작은 값을 부여하는 것이 일반적이며, 너무 큰 비율을 주었을 때 우수한 해가 나빠져 버리는 경우가 발생한다. 그러므로 유전자를 일정한 확률로 변화시키는 조작으로 변화 확률이 크게 설정되면 Schemata가 전부 파괴되기 때문에 임의의 선택(Random Search)방법을 사용하여 초기 유전자 조합 이외의 공간을 탐색할 수 있도록 하였다. 또한 돌연변이 연산자를 사용하는 궁극적인 목적은 부분해(Local Solution)에 빠지지 않게 하기 위해서 사용하는 연산자이다. 그러므로 본 연구에서 사용한 돌연변이 방법은 다음과 같다.

- 교환 돌연변이(reciprocal exchange mutation)

부모에서 서로 같지 않은 임의의 두 인자를 교환하여 자손을 생산하는 방법이며 아래의 예를 통하여 설명하겠다. 예: m과 a를 교환하여 자손을 생성한다. 따라서 새로운 개체(O<sub>2</sub>)가 생성되었다.

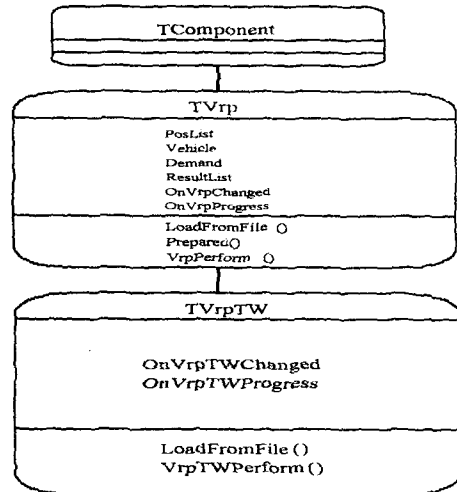
$$P_1 = ( e c d m f j b h i a k g )$$

$$O_2 = ( e c d a f j b h i m k g )$$

4.3 VRP 및 GA-TSP모듈의 전산프로그램

본 연구의 3가지 서브모듈은 객체지향 프로그래밍 언어인 C++언어를 사용하였으며 C++ 언어의 특성인 데이터 추상화(Data Abstraction), 상속성(Inheritance), 그리고 다형성(Polymorphism)을 가질 수 있도록 Class구조를 사용하여 캡슐화(Encapsulation) 시켰다. 따라서 VRP 모듈과 GA-TSP 모듈은 코드 재사용을 가장 극대화시킬 수 있고, 확장성을 높일 수 있으며, 외부 다른 모

듈에 대해서 독립적이며, 다른 프로그래머들도 쉽게 사용할 수 있도록 하기 위해서 2가지의 컴포넌트로 개발하였다. 차량경로계획(VRP)모듈을 위한 전산프로그램의 Class 구조도는 <그림 4>와 같으며, 이를 Class별로 설명하면 <그림 9>와 같다. 또한 VRP Component의 구조 도는 TComponent로부터 상속받은 Time을 고려하지 않은 TVrp 컴포넌트와 Time을 고려한 TVrpTW 컴포넌트로 구분된다. TVRP 컴포넌트는 4가지의 Class 인스턴스 변수로 구성되어 있다.



<그림 9> VRP 컴포넌트

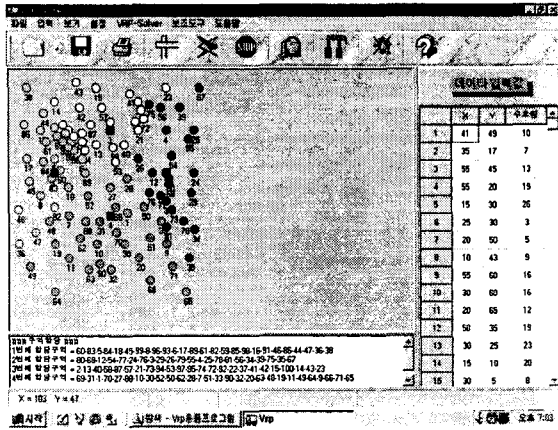
4.4 VRP 및 GA-TSP모듈의 응용

차량운송계획 S/W의 우수성을 보이기 위하여 3개 Module을 연계하여 응용한 결과를 보였으며 수요지가 100개소이고 물류센터가 4개소인 경우에 본 모델을 응용하였다.

먼저 각 물류센터가 담당할 구역할당 결과를 <그림 10>과 같이 보였다.

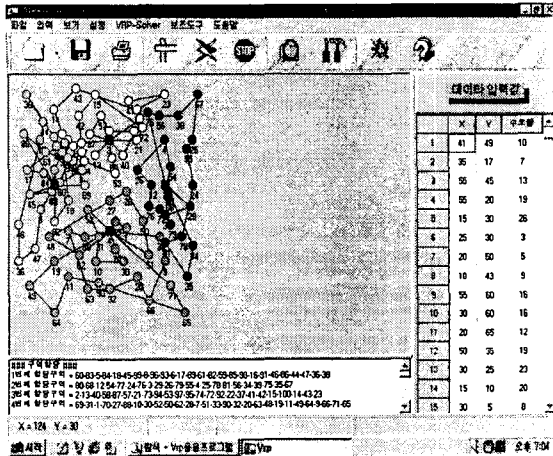
1) 차량경로계획(VRP Module)모듈은 Sector Clustering Module을 상속받아서 다 물류센터를 단일물류센터로 변화하여 차량경로계획을 수립하기 위한 모듈로서, 차량 종류별, 차량대수, 운반능력을 고려하고, 차량운행시간제한 및 물류센터의





<그림 10> Sector-Clustering 결과 화면 (Depot 4, 수요지 100)

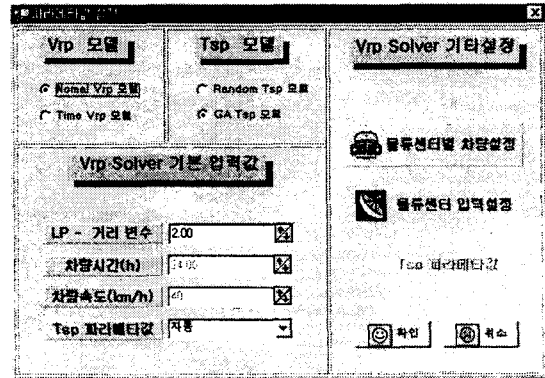
공급능력을 고려하여 차량경로문제를 해결하는 모듈로서 <그림 11>과 같이 응용결과를 보였다.



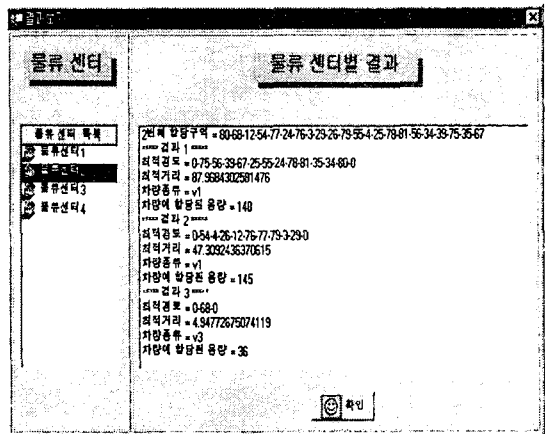
<그림 11> 물류센터별 차량경로결과화면

2) GA-TSP Module

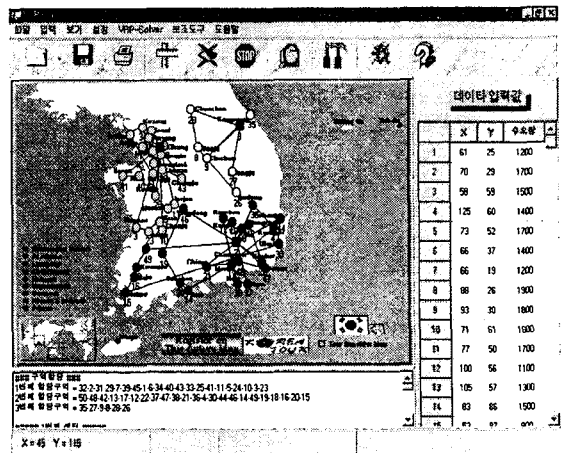
본 모듈은 Improved VRP Module을 상속받아서 차량운행거리(또는 시간 및 비용)를 최소화하는 모듈로서 다양성, 편리성, 및 통합성이 우수하다. <그림 12>는 본 소프트웨어의 통합모듈의 파라미터를 표시하고있으며 <그림 13>은 물류센터별 최적 차량운송순서를 표시하고있다.



<그림 12> 통합모듈인 파라미터 설정화면



<그림 13> 물류센터별 최적차량순서 결과



<그림 14> 물류센터별 통합 차량경로계획 결과

3) 통합차량경로계획 사례

<그림 14>는 전국 3 개지역의 물류센터 별 차량운송계획문제의 사례로 물류센터별 최적차량 순서계획이 완성된 결과화면이며 Map Data를 이용한 결과를 보이고 있다.

4.5 기존의 모델들과의 비교

1) Clarke & Wright의 Saving[5] 알고리즘과의 비교

기존의 모델들과의 비교를 위하여 다음과 같이 다양한 데이터를 사용하여 Clarke & Wright (C&W)의 Saving 알고리즘과 본 연구에서 제시한 개선된 Saving 알고리즘을 사용한 모델인 VRP모델 및 GA-TSP모델을 응용하여 구한 총 운송거리를 비교하였으며 그 결과를 <표 3>과 같이 요약하였다. 본 예에서는 물류센터를 (70, 70)에 위치시키고 수요지의 수를 30~200까지의 경우를 고려하였으며 여기서 알 수 있는 것은 C&W모델보다 본 연구에서 제안된 VRP모델 및 GA-TSP모델이 우수한 결과를 얻었다.

<표 3> 본 연구와 C&W 이동거리 비교

문제 번호	수요지수	C&W	본 연구	
			VRP	GA-TSP
1	30	854	815	746
2	50	1171	1190	1051
3	75	1470	1471	1356
4	100	1808	1839	1684
5	120	2024	1982	1869
6	150	2300	2260	2115
7	200	2864	2968	2786

2) 운송거리 및 소요 경로 수의 비교

<표 4>는 총 운송거리 및 경로 수를 비교하기 위하여 Gillet와 Miller[8]의 VRP모델과 Christofides [3][4]의 모델의 결과를 수요지 21 ~29까지의 경우의 예를 들고 본 모델의 결과와 비교하였다. 총 운송거리 뿐 아니라 최적 해의 경로 수가 비교적

적음을 알 수 있다.

<표 4> 본 연구와 기존연구와의 결과비교 (괄호안 수는 경로 수)

문제 번호	수요 지수	Gillett & Miller	Christofides & Eilon	본 연구	
				VRP	GA-TSP
1	21	591 (4)	585 (4)	507 (4)	424 (4)
2	22	956 (5)	875 (5)	704 (3)	690 (3)
3	29	875 (4)	745 (3)	700 (3)	599 (3)

3) 운송거리 및 최적 해에의 수렴 속도 비교

<표 5>는 Kureichik 및 Sugal[2][9]모델의 응용결과를 본 모델의 결과와 총 운송거리 및 최적 해에의 수렴 속도를 비교한 결과이다. 수요지의 수를 10~99까지 변화 시켰으며 본 모델이 운송거리 뿐 아니라 최적 해에의 수렴속도가 매우 빠름을 알 수 있다.

<표 5> 운송거리 및 수렴속도 비교

구분 수요지수	Heuristic 1	Heuristic 2	Proposed Model
10	150 (850)	150 (450)	150 (450)
30	454 (4950)	455 (4950)	451 (948)
50	558 (1150)	579 (4990)	549 (378)
99	1682(4450)	1719(12450)	1368(1752)

\* Heuristic 1 : Victor M. Kureichik[9] 모델  
 \* Heuristic 2 : Sugal[2]모델

본 연구에서는 다 물류센터의 문제를 구역할당을 한 후에 단일 물류센터 문제로 변환한 후 단일물류센터의 차량경로계획 문제로 해를 구하였으나 기존의 기법들은 단일 물류센터 문제로서 초기 해의 경로에 삽입기법을 적용하여 차량경로 계획문제를 해결하는 방법을 사용했다. 따라서 본 연구의 결과는 차량의 적재용량을 최대한 채워서 배송하는 알고리즘을 적용하였으며, 그 결

과 기존의 기법보다 많은 양을 적재하여 배송하는 결과를 얻었다. 그리고 차량경로의 총 거리도 기존의 모델들보다 적은 결과를 얻었다. 좀더 많은 연구와 비교분석을 해야 하겠지만 차량의 적재량을 최대한 활용하므로 배송할 차량의 수를 줄일 수 있어 물류센터 측면에서 비용을 절감하는 효과를 가져올 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구는 다 물류센터의 차량운송계획문제를 유전자 알고리즘(GA :Genetic Algorithm) 및 Heuristic방법을 사용하여 시간 제약이 존재하는 차량운송경로계획문제를 위한 모델을 개발하였다. 이를 위한 다 물류센터를 단일 물류센터의 문제로 변환하는 구역할당 알고리즘을 개발하고 VRP 및 GA-TSP 등 3 단계의 접근 방법을 사용하였다. 통합차량운송시스템을 위하여 2개의 Component로 구성된 GUI-type으로 프로그램을 개발하였으며 Sample 예제를 통하여 차량의 종류별 차량운송경로계획과 운송하는데 소요되는 시간 및 적재된 차량의 용량을 고려한 최적운송계획을 쉽게 구할 수 있게 하였다. 본 연구에서 개발된 프로그램은 Sample 예제의 범위에서 기존의 모델들보다 총 운송거리 및 경로의 수와 최적 해에의 수렴속도등의 측면에서 우수한 결과를 보였다. 본 연구 결과 개발된 Dongeui VRP-Solver는 교육 및 연구용으로 활용될 수 있도록 사용자 메뉴얼과 함께 공개활용 준비를 하고있다. 기존의 개발된 프로그램들과 본 프로그램과 비교 검토하기 위한 추가 연구를 계속 할 예정이며 GIS 및 GPS등을 이용하여 자동차량 위치 추적시스템인 AVL시스템과 연계하여 운송 중인 차량의 운송 순서계획을 조정 할 수 있도록 추가 연구할 계획이다.

## 참고 문헌

- [1] Achim Bachem et al, "An efficient parallel cluster-heuristic for large Traveling Salesman Problems" Universitat zu Koln, 1994.
- [2] Andrew Hunter. SUGAL Genetic Algorithm Package. University of Sunderland, England, (1995).
- [3] Christofides,N. and S.Eilon, "An Algorithm for the Vehicle Dispatching Problem", *Operational Research Quaterly*, Vol. 20, No.3, pp. 309~318, 1969
- [4] Christofides, N., A. Mingozzi, and P. Toth, "Exact Algorithms for the Vehicle Routing Problem, Based on Spanning Tree and Shortest Path Relaxations," *Mathematical Programming*, Vol. 20, No. 3, pp. 255-282, 1981.
- [5] Clarke G. and J. Wright, "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points," *Operations Research*, Vol.12, No. 4, pp. 568-581, 1964.
- [6] Dantzig, G., Fulerson, D. & Johnson, S., "Solution of a Large Scale Traveling Salesman Problem", *Oper. Res.* p393~410, 1954.
- [7] Golden, B., I. Bodin, T. Doyle, and W. Stewart Jr., "Approximate Traveling Salesman Algorithm," *Operations Research*, Vol., 28, pp. 694-711, 1980.
- [8] Gillet, B. and L. Miller, "A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem," *Operations Research*, Vol. 22, No. 2, pp.340-349, 1974.
- [9] Kureichick, V.M. Melikhov,A.N., "Some New Features in Genetic Solution of the Traveling Salesman Problem." *Proceedings of ACEEDC '96* pp.1~6., 1996.
- [10] Laporte, G., "The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate

- Algorithms", European Journal of Operational Research, Vol. 59, No. 3, pp. 345-358, 1992.
- [11] Laporte, G., M. Desrochers, and Y. Nobert, "Two Exact Algorithms for the Distance-constrained Vehicle Routing Problem," Networks, Vol. 14, No. 1, pp. 161-172, 1984.
- [12] P. Miliotis, "Ineger Programming Approaches to the Traveling Salesman Problem," Math. Prog. 10, 367-378, 1976

---

● 저자소개 ●

---



황흥석

1963 육군사관학교 이학사

1979 한국과학기술원 산업공학 석사

1982 한국과학기술원 산업공학 박사

1982 ~1990 국방과학연구소(ADD) 책임연구원

1986 ~1987 미국체계분석연구소(AMSAA)

1990 ~현재 동의대학교 산업공학과 교수

관심분야 : Logistics System Design, Facility Planning,  
Weapon Systems Analysis, Simulation,  
Project Management