

복수물류센터에 대한 VRP 및 GA-TSP의 개선모델개발

이상철^{1*}, 류정철²

Improved VRP & GA-TSP Model for Multi-Logistics Center

Sang-Cheol Lee^{1*} and Jeong-Cheol Yu²

요약 시간제한을 가지는 차량경로문제는 배송 및 물류에서 가장 중요한 문제 중의 하나이다. 실제적으로 고객의 서비스를 위하여 주어진 시간 안에 출발해서 배송을 끝마쳐야 한다. 본 연구는 복수 물류센터의 최적차량경로문제를 위하여 유전자 알고리즘을 이용한 2단계 접근방법을 사용한 VRP(Vehicle Routing Problem)모델의 개발이다. 1단계로 구역별로 Clustering한 것은 복수 물류센터의 문제를 쉽게 해결하기 위해 단일 물류센터의 문제로 전환하여 모델을 개발하였다. 2단계로 시간제한을 가지는 최적차량경로를 찾을 수 있는 개선된 유전자 알고리즘을 이용하여 GA-TSP(Genetic Algorithm-Traveling Salesman Problem)모델을 개발하였다. 따라서 본 연구에서 개발한 Network VRP는 ActiveX와 분산객체기술을 이용한 VRP문제의 해를 구하기 위한 전산프로그램을 개발한다.

Abstract A vehicle routing problem with time constraint is one of the most important problem in distribution and logistics. In practice, the service for a customer must start and finish within a given delivery time. This study is concerned about the development of a model to optimize vehicle routing problem under the multi-logistics center problem. And we used a two-step approach with an improved genetic algorithm. In step one, a sector clustering model is developed by transfer the multi-logistics center problem to a single logistics center problem which is more easy to be solved. In step two, we developed a GA-TSP model with an improved genetic algorithm which can search a optimize vehicle routing with given time constraints. As a result, we developed a Network VRP computer programs according to the proposed solution VRP used ActiveX and distributed object technology.

Key words : GA-TSP(Genetic Algorithm-Traveling Salesman Problems), Logistics Center, VRP(Vehicle Routing Problem)

1. 서론

본 연구는 지리적으로 흩어져 있는 다양한 수요량과 배송시점 및 수요지점을 물류센터별로 서비스할 수 있는 구역으로 분할하여 수요지점의 요구량과 차량운행시간제한을 만족하는 최적차량경로계획 모델을 개발하는데 있다. 본 모델에서 사용된 접근방법인 1단계로 복수 물류센터의 문제를 단일 물류센터의 문제로 Clustering 한다. 그리고 2단계로 단일 물류센터별 차량운행시간제약을 만족하는 차량경로문제를 해결하기 위하여 개발한 수정된 Saving 알고리즘을 적용하여 운송 가능한 차량별 수요지점을 할당한다. 또한, 이를 최적화하기 위한 접근방법은

로 개선된 유전자 알고리즘을 사용하여 차량경로문제의 근본적인 목적인 거리(비용, 시간)를 최소화하기 위한 Network VRP 모델을 개발한다. 그리고 본 모델에서 사용된 기존 연구고찰은 다음과 같다.

1.1 차량운송계획 (Traveling Salesman Problem; TSP)

TSP 문제는 고전적인 최적화문제로서 고객이 있는 n 개의 모든 장소를 오직 한 번씩만 방문하면서 비용 또는 거리를 최소화하는 문제이다. TSP의 대표적인 예로는 우편물을 수거하는 문제, 학교버스의 경로결정문제, 외판원 문제이고, 폭넓은 응용성은 공학, 전자, 물리학, 생물학, 다양한 분야인 차량경로 문제나 집적 회로 삽입문제, 기계 일정계획 문제 등의 예들로 응용되고 있으며, 최근에는 물류비 절감을 위한 혼합형 최적화 문제로 많은 연구

¹동명대학교 경영대학 경영학과

²경남정보대학 경영정보계열

*교신저자: 이상철(sclee@tu.ac.kr)

가 진행되고 있다[2].

특히 TSP 모델의 해법인 발견적 해법은 크게 두 부류로 나눌 수 있는데, 방문해야할 지점을 추가해 가는 운행 경로구성절차 해법과 주어진 운행경로에서 시작하여 방문 지점들의 운행순서를 바꾸는 경로개선절차 해법으로 나눌 수 있다[8,12,13,19,20,21]. 경로구성절차로서는 최근인접점 방법을 비롯하여 많은 방법들이 있으며, 삽입방법은 기존의 경로에 새 교점을 삽입하는 기준에 따라 구분되어 진다. 경로구성절차의 계산량은 대부분 $O(N^2)$ 이지만, 좋은 초기해를 얻기 위해서는 모든 교점에서 시작하는 방법을 사용하므로 $O(N^3)$ 의 계산량을 가지게 된다. 경로개선절차로서는 Lin & Kernighan의 K-Opt해법이 대표적이다[20]. 이것은 수행시간과 해의 정확도를 고려할 경우 K가 3일 때 효용이 가장 좋은 것으로 알려져 있다[19]. 혼합된 절차를 사용한 예로는 B. Golden et al.과 M. Gendreau et al.의 연구가 있다. B. Golden et al.의 연구는 기존의 경로구성절차를 사용하여 구한 해를 초기해로 하여 3-Opt를 적용하고, 여기에 다른 해법절차를 추가하는 변형된 방법들로 이루어져 있다[13]. 그에 반하여 유전자 알고리즘은 전체적인 해공간을 탐색하여 근사한 해를 도출하므로 대규모 문제에 있어 효율적인 근사해법으로 알려져 있다. 최근에 발표된 논문에는 V. M. Kureichick et al.는 Grefensttett의 greedy crossover연산자, mutation 연산자 및 crossover연산자를 수정하고 population의 개수를 동적으로 조정하는 알고리즘을 사용한 수정된 유전자 알고리즘을 사용하여 TSP문제의 해를 개선한 해법 연구가 있고[29,30], Weilin는 혼합형 유전자 알고리즘을 사용하여 클러스터링을 통한 해법 연구가 있다[31]. 그리고 유전자 알고리즘은 여러 개의 개체를 동시에 발생시켜 그 개체들에 대한 적자생존방법으로 진화하여 최적해를 구하는 알고리즘으로서, TSP와 같은 여러 가지 최적화문제에 응용되어 좋은 결과를 산출하고 있다[7,14]. 따라서 본 연구에서는 이러한 기존의 연구 결과들을 활용하여 유전자 알고리즘의 주 연산자인 교차 연산자를 개발하여 개선된 유전자 알고리즘을 활용한 새로운 TSP해법을 위해 GA-TSP 모델을 개발한다[16].

1.2 차량경로계획(Vehicle Routing Problem; VRP)

VRP에 대한 기존의 연구는 최적해법과 근사해법의 두 부류로 나눌 수 있다[15]. 최적해법에 관한 연구는 절단평면법 및 분지한계법을 응용한 것이다[4,18,23,24]. 이러한 최적해법은 문제의 규모가 커질 경우 계산량이 지수적으로 증가하게 된다. 차량경로계획에 대한 대부분의

연구는 실제로 현실에 활용이 가능한 효율적인 근사해법에 집중되어 왔다. 근사해법에 관한 연구는 그 접근 방식에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

- (1) 선 경로-후 물량 접근 방법은, 물량의 적재 가능성에 대한 제약은 일단 완화한 상태에서, 비용 효율적인 대규모 경로를 구성하고, 구성된 비용 효율적 경로에 대하여 적재 가능성을 고려하여 이미 설정된 대규모 경로를 분할해 가는 방식이다[3,27].
- (2) 선 물량-후 경로 접근 방법은 각 수요지점의 물량 규모를 우선적으로 고려하여 차량의 적재용량에 따라 각 수요지점을 군집한 후, 군집된 수요지점의 군집화 별로 효율적 순회경로를 결정해 나가는 방법이다[3].
- (3) saving heuristic은 Clarke and Wright가 최초로 제안한 후 널리 사용되었으며[6], 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 나가는 방법이다. 이 방법은 현행 경로에 포함되어 경유할 수요지점을 탐색해 가는 일종의 수요지점 삽입 절차이다[9].
- (4) 교환형 개선 절차는 현행(또는 초기) 경로상의 도로구간이나 수요지점의 주행 순서를 모두 열거하며 교환하는 절차를 통하여 해를 개선하는 방식으로서 Russell 및 Christofides and Eilon의 연구가 이에 해당한다[5,25].
- (5) 수리적 접근 방법은 수리적 모형에 내재한 특수한 구조를 이용하여 원 문제를 효율적인 해법이 개발되어 있는 부분문제로 분해한 후 이 부분문제를 반복적으로 해결함으로써 원문제의 해를 탐색해 가는 방식으로서 Fisher & Jaikumar의 연구를 꼽을 수 있다[10].

그외 연구로서 Gendreau, Hertz, Laporte는 차량의 용량과 차량의 운행시간제한을 가지는 경우의 차량경로계획을 삽입기법을 이용하여 해결하였다[11]. 뿐만 아니라 Jeffrey Braca et al.에 의한 지리정보시스템과 차량경로계획을 혼합한 실용적인 최적차량경로계획 문제를 응용한 연구 등이 있다[15]. 기존의 문헌조사 연구결과 대부분이 수리모델과 시뮬레이션 방법을 사용한 단일 물류센터의 최적경로문제였으며[26], 복수 물류센터의 문제는 다소 미비하였다. 따라서 본 연구의 기존연구자료 조사는 <표 1>과 같다.

표 1. 기존의 연구자료조사표

발견적 방법의 분류	TSP	VRP	GA
경로구성절차 해법	B. Golden et al. Dantzig & Fulerson & Johnson. Miller & Trunker.		
경로개선절차 해법	Lin & Kernghan. Lin, S.		
혼합형	Gendreau & Hertz		
최적해법		Christofides et al. Laporte et al. P. Millotics.	
근사해법		Jeffrey Bracaetal. Gendrew, Hertz, Laporte. P. Augerat et al.	Kureichick et al. Weilim.
본연구 (혼합형)	GA-TSP 사용	개선된 saving 알고리즘의 삽입기법	개선된 인접인자 교차 연산자 사용, elite 개체 사용

위와 같은 연구결과들을 통하여 본 연구에서는 차량 경로계획을 해결하기 위하여 개선된 saving 알고리즘을 적용하여 두 수요지점 사이에 새로운 수요지를 포함하여 전체거리가 절약되는 수요지를 선정하는 알고리즘을 개발하고, 기존의 연구 결과를 이용하여 복수물류센터의 문제를 다루고, 물류센터별 공급량과 차량의 용량 및 시간 제약을 고려한 최적차량경로 문제의 해를 구한다.

2. 물류센터별 구역할당 모델 (Sector Clustering Model)

본 연구의 1단계로 물류센터별 구역할당 모델은 다음과 같은 가정을 전제로 한다.

- 첫째, 각각의 물류센터는 모든 수요지점의 수요량을 만족한다.
- 둘째, 수요지점별 수요량은 미리 알려져 있다.
- 셋째, 각각의 물류센터별 보유차량은 다양하며, 충분히 가지고 있다.
- 넷째, 만약에 물류센터의 공급량이 부족할 경우 일부만 공급하고, 공급하지 않은 수요지점을 표시한다.

본 연구는 복수물류센터(1, ..., C_N)의 문제의 해를 구하기 위하여 첫 번째 단계로 수요지(D_1, \dots, D_n)를 각 물류센터별로 할당하는 구역할당 방법을 사용하여 단일 물류센터 문제로 변환시켰다. 이는 각 물류센터에서 가까운 거리에 있는 수요지를 각 물류센터에 먼저 할당한다는 가정을 두고 있다.

구역할당은 각 물류센터별로 분류된 수요지들의 수요량(d_1, \dots, d_n)의 합이 각 물류센터 별 수요량

(CW_1, \dots, CW_N)을 넘지 않는 범위 내에 배분한다.

배분된 수요지는 각 물류센터에서 각각의 차량에 대하여 최적의 경로들을 구성하며, 각 경로는 최소의 거리(시간, 속도, 기타)를 구성하고, 각 차량별 수요량의 합이 물류센터의 총수요량(CW_1, \dots, CW_N)을 넘지 않는 범위 내에서 할당한다.

구역할당을 위한 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) 각 물류센터에서 모든 수요지점간의 거리를 계산한다. 여기서는 일반거리(LP-Distance) 방법을 사용하였다.

$$d(x, p) = (|x - a_i|^p + |y - b_j|^p)^{\frac{1}{p}}$$

여기서, $d(x, p)$ =거리, (x, y) =시작점,

(a_i, b_j) =끝점이다.

일반적으로 $P=1$ 인 경우는 직각거리(Rectilinear Distance)이고 $P=2$ 인 경우는 직선거리(Euclidean Distance)이다. P 값은 도로의 직선 및 굴곡도 정도와 기타 교통 변화에 따른 요소들로부터 예측할 수 있다.(예를 들면 미국의 도로는 경험적인 값으로 $P=1.78$ 이다.)

- 2) 각 물류센터별로 계산된 거리를 오름차순으로 정렬한다.
- 3) 물류센터별로 수요지점을 할당하기 위하여 중복이 되지 않게 Random하게 물류센터 하나를 선정하고, 이중 최소 거리의 수요지점을 할당한다.(Greedy Algorithm의 개념을 이용한 것이다.)
- 4) 다른 물류센터에서는 할당된 수요지점은 제외시킨다.
- 5) 각 물류센터의 공급능력을 만족할 때까지 수요지점

들을 할당한다. 그렇지 않으면 단계3)으로 간다.

6) 모든 수요지점을 물류센터에 할당했을 때 멈춘다.

3. 차량경로계획의 수리적인 모델

본 연구에서 사용된 차량경로계획의 수리적인 모델은 다음과 같은 기본적인 가정들을 따른다.

- 물류센터로부터 각 수요지점은 모두 할당되어야 하며, 모든 차량에 의해 운송된 총 거리의 최소화를 만족해야함을 원칙으로 한다.
- 각 차량은 적재용량과 최대운송경로 시간제약을 가지며, 반드시 모든 차량은 물류센터에서 출발하여 물류센터로 되돌아온다. 그리고 본 모델은 Pick-up과 Delivery 수요지는 동일한 것으로 간주한다.

3.1 수리적인 모델

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^{NV} C_{ij} X_{ij}^v \quad (3.1)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^v = 1 \quad (j=2, \dots, n) \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^v = 1 \quad (i=2, \dots, n) \quad (3.3)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ip}^v - \sum_{j=1}^n X_{pj}^v = 0 \quad (v=1, \dots, NV; p=1, \dots, n) \quad (3.4)$$

$$\sum_{i=1}^n d_i \left(\sum_{j=1}^n X_{ij}^v \right) \leq K_v \quad (v=1, \dots, NV) \quad (3.5)$$

$$\sum_{i=1}^n t_i^v \sum_{j=1}^n X_{ij}^v + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij}^v X_{ij}^v \leq T_v \quad (v=1, \dots, NV) \quad (3.6)$$

$$\sum_{j=2}^n X_{1j}^v \leq 1 \quad (v=1, \dots, NV) \quad (3.7)$$

$$\sum_{i=2}^n X_{i1}^v \leq 1 \quad (v=1, \dots, NV) \quad (3.8)$$

$$X \in S \quad (3.9)$$

$$X_{ij}^v = 0 \text{ or } 1 \text{ for all } i, j, v \quad (3.10)$$

n = 수요지점의 수

NV = 차량의 수

K_v = 차량의 적재용량

T_v = 차량별 허용된 최대운행시간

d_i = 수요지별 수요량 ($d_1 = 0$)

t_i^v = 수요지별 요구된 도착시간 ($t_1^v = 0$)

t_{ij}^v = 수요지 i 에서 j 까지 운행하는데 소요되는 시간 ($t_{ii}^v = \infty$)

C_{ij} = 수요지 i 에서 j 까지 운행하는데 소요되는 비용

$X_{ij}^v = 1$, 즉 수요지 i, j 가 차량 v 에 의해 운행되었다면 "1" 그렇지 않으면 "0"이다.

(3.1)식은 총 운행거리(시간)를 최소화하는 목적함수이거나, 다른 방법으로 차량형태에 의존하는 C_{ij}^v 비용계수에 의해 C_{ij} 가 대치되는 비용 최소화를 위한 목적함수이기도 하다. (3.2)와 (3.3)식은 각 수요지점은 한 대의 차량에 의해서 확실하게 서비스되어야 함을 의미한다. (3.4)식은 차량이 수요지점에 들어간 후에 그 수요지점으로부터 반드시 나와야 한다는 조건이다. (3.5)식은 각 경로에 포함된 수요지점의 총 수요량은 차량의 적재용량을 초과할 수 없다는 것을 의미한다. 유사하게 (3.6)식은 경로에 포함된 수요지점들을 방문하는데 걸리는 총 운행시간(거리)은 차량의 최대운행시간(거리)을 초과할 수 없다는 것을 의미한다. (3.7)과 (3.8)식은 모든 수요지점을 방문하는데 필요한 차량 수는 주어진 차량 수 NV 대를 초과할 수 없다는 것을 의미한다. (3.9)식은 차량경로문제에 대한 정상적인 경로의 집합을 의미한다. (3.10)식은 0 또는 1을 가지는 정수조건이다. 그리고 제시된 수리적 모델은 수요지점의 수요량을 반드시 운송해야하며, 수요량의 부분별 운송방법도 허용한다[13].

3.2 차량경로모델의 발견적 해법

본 연구에서 제시한 2단계로 발견적 해법의 절차는 다음과 같다.

- 1) 복수물류센터의 차량경로모델을 단일 물류센터 문제로 전환하기 위하여 물류센터별 배송 가능한 수요지를 구역별로 할당한다. 자세한 절차는 2절 물류센터별 구역할당 모델을 참조하면 된다.
- 2) 단일 물류센터별로 VRP 모델을 적용하여 차량 종류별 수요지를 할당한다.

<절차>

- ① 수정된 Saving Algorithm을 적용하여 Saving 값을 구한다.

$$S_{x,y} = d_{0,x} + d_{0,y} - d_{x,y} \quad (\text{Saving 거리})$$

- ② Saving 값 중에서 가장 큰 Cell을 선택한다.(차량의 적재용량을 체크하여 배송가능성을 확인한다.)

$$C_0 \rightarrow D_{x1} \rightarrow D_{y1} \leq K_v$$

- ③ 추가 경로를 정하기 위하여 남아 있는 수요지 중 Saving 값이 큰 Cell을 찾는다. (만약에 적재용량을 초과하면, 초과하지 않는 Cell을 찾아서 추가하고, 쌍을 이루는 Cell이 존재하지 않을 때는 차량의 적

재용량 중 남아있는 용량을 비교해서 가장 많이 적재할 수 있는 수요지를 선택한다.)

- a) $C_0 \rightarrow D_{x1} \rightarrow D_{y1} \rightarrow D_{x2} \rightarrow D_{y2} \leq K_v$ (쌍을 이루는 Cell이 존재할 경우)
- b) $C_0 \rightarrow D_{x1} \rightarrow D_{y1} \rightarrow D_{x2} \rightarrow D_{y2} > K_v$ (쌍을 이루는 Cell이 존재하지 않을 경우)
- c) $C_0 \rightarrow D_{x1} \rightarrow D_{y1} \rightarrow D_{x2} \leq K_v - \alpha$ (하나의 수요지만 추가한다.)
- ④ 물류센터별 모든 수요지를 할당할 때까지 단계2를 반복한다.
- 3) 개선된 GA-TSP를 이용하여 차량의 운행시간제약을 만족하는 최적의 차량경로를 찾는다.

<절차>

(1) 유전자 알고리즘의 개선

- 모집단을 정하는 방법

본 연구에서는 모집단을 구성하는 방법으로 먼저 모집단의 개체의 수를 정하고 Permutation을 통하여 정해진 개체의 수만큼 Random Search에 의해 선택한 후 이를 초기 모집단으로 만든다.

- GA 연산자의 개선

유전자 알고리즘의 대표적인 연산자인 교차 연산자는 부모 개체가 가지고 있는 특성을 서로 결합하여 새로운 개체 생성하는 연산자이다. 이러한 연산자로서 잘 알려진 순서교차, 부분사상교차, 순환교차 및 인접인자 재결합 교차 연산자가 가장 많이 사용되고 있다. 본 연구에서 제시한 개선된 인접인자 재결합 교차 연산자는 수요지의 순서를 기반으로 하여 다음과 같은 절차에 의해 개선하였다. 먼저 초기 모집단으로 구성된 각 개체를 적용도 함수에 의하여 평가하고 이를 올림차순으로 정렬한 후 교차 연산자를 적용시켰다. 즉 어떤 수요지가 두 부모에서 모두 특정 수요지에 인접된 경우, 이를 인접표에서 “-”로 표시하고 이 인접 수요지를 우선하여 선택하는 방법으로서 다음의 단계를 따라서 자손을 생성한다[1].

- step 1 : 인접표를 작성한다. (<표 2> 인접표 예.)
- step 2 : 인접표가 가장 적은 수요지의 번호를 두 개 선택한다.(인접표상의 수요지의 번호수는 4개에서 2개 사이에 존재한다.)
- step 3 : 선택된 수요지 중 번호순으로 자손(O_1)과 자손(O_2)를 생성한다.(만약, 동일인 경우 번호순별로 선택)

- step 4 : 인접한 수요지 중 “-”로 표시한 수요지부터 번호순으로 선택하고, 인접표에서 지운다.
(만약, 인접표에서 선택할 번호자가 존재하지 않는 특수한 경우가 발생하면 순자순서별 수요지를 찾아 선택한다.)
- step 5 : 완전히 새로운 자손이 생성될 때까지 단계 4를 반복한다.

표 2. 인접표 예

Demand	Edge List
1	9 -11 7
2	-8 10 7
3	-5 4 7
4	-12 7 3
5	-11-3
6	-10 12 9
7	1 2 3 4
8	-2 9 12
9	8 10 1 6
10	-6 9 2
11	-5 -1
12	-4 6 8

- $P_1 = [7 4 12 8 2 10 6 9 1 11 5 3]$
- $P_2 = [3 5 11 1 7 2 8 9 10 6 12 4]$
- $O_1 = [5 3 4 12 6 10 2 8 9 1 11 7]$
- $O_2 = [11 1 7 2 8 9 6 10 3 5 4 12]$

· 돌연변이 연산자

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 나빠져버리는 경우가 발생한다. 그러므로 유전자를 일정한 확률로 변화시키는 조작으로 큰 변이 확률이 설정되면 Schemata가 전부 파괴되기 때문에 임의의 선택 방법을 사용하여 초기 유전자 조합 이외의 공간을 탐색할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 사용한 방법은 다음과 같다.

· 교환 돌연변이

부모에서 서로 같지 않은 임의의 두 인자를 교환하여 자손을 생산하는 방법이며 아래의 예를 통하여 설명하였다. 예: 4와 8을 교환하여 자손을 생산한다.

- $P_1 = (1 2 3 4 5 6 7 8 9)$
- $O_2 = (1 2 3 8 5 6 7 4 9)$

· 역위 돌연변이

개체의 두 개의 역위 점을 구하여 그 사이의 개체들의 순서를 반대로 바꾸어 자손을 생성한다.

$$P_1 = (1 2 3 4 5 6 7 8 9)$$

$$O_2 = (1 2 3 8 7 6 5 4 9)$$

3.3 차량경로모델의 프로그램 개발

본 연구에서 개발된 차량경로모델의 Module은 3가지이며 <그림 1>은 최적차량경로계획 Class 상속도이다. 먼저 물류센터별로 수요지를 할당하는 Sector-Clustering Module과 물류센터별로 할당된 수요지에 차량을 배정하는 VRP Module 그리고 수요지에 차량이 배정되면 배송하는 순서를 결정하는 GA-TSP Module로 구성되어 있다.

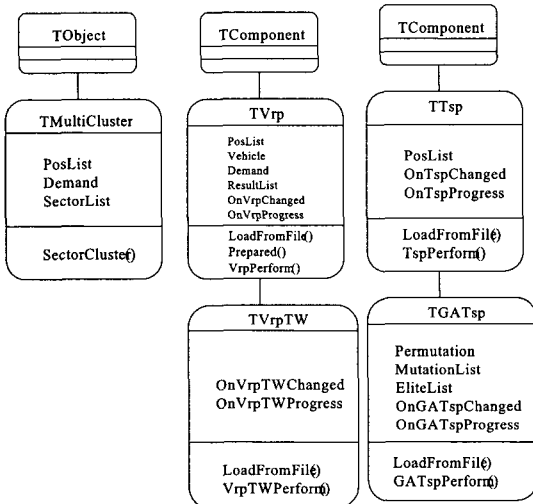


그림 1. 최적차량경로계획 Class 상속도

이 3가지 모듈은 객체지향 프로그래밍 언어인 C++언어를 사용하였다. C++ 언어의 특성인 데이터 추상화, 상속성, 그리고 다형성을 가질 수 있도록 Class구조를 사용하여 캡슐화 시켰고, OOP언어의 가장 큰 특징인 코드 재사용을 주안점으로 프로그래밍 하였다. 따라서 VRP 모듈과 TSP 모듈은 코드 재사용을 가장 극대화시킬 수 있고, 확장성을 높일 수 있으며, 외부 다른 모듈에 대해서 독립적이며, 다른 프로그래머들도 쉽게 사용할 수 있도록 하기 위해서 2가지의 컴포넌트로 개발하게 되었다. 그리고 VRP, GA-TSP 컴포넌트는 C++ 언어로 작성되었지만 컴포넌트 소스를 컴파일하여 Package Library(*.bpl)로 만들면, 파스칼 언어를 사용하는 delphi에서도 사용할 수 있다. 또한, 개발에 사용된 모든 Class들의 list구조는 내부적으로 Linked List 구조를 따르며 이는 VCL에서 제공하

는 TList Class를 Wrapping한 것이다. 본 모델은 사용자를 위한 다양한 기능, 편리성, 객체지향성, 통합성에 최대한 중점을 두고 개발되었다. <그림 2>은 본 연구에서 개발된 Network VRP 프로그램의 1단계 해법인 물류센터별 구역할당 모델의 결과를 보여준다. 붉은 색의 사각형이 각각 물류센터 1, 2, 3을 나타내고, 물류센터 1에 할당된 수요지는 하늘색으로 표시되어 있다. 그리고 물류센터 2는 파란색, 물류센터 3은 노랑색으로 표시되어 할당되어 있다. 오른쪽의 숫자는 각 수요지별 좌표와 수요량을 나타낸다.

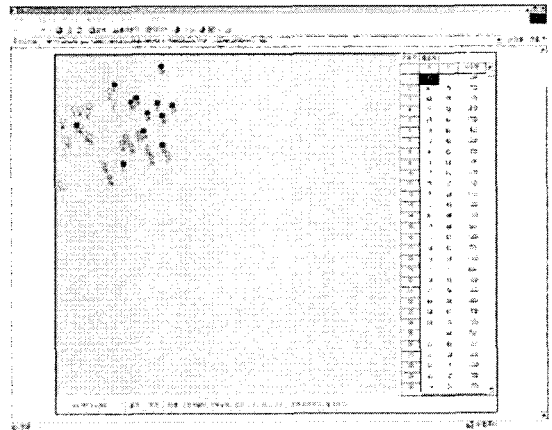


그림 2. 물류센터별 영역할당 화면

<그림 3>는 차량경로문제의 모델과 제약조건을 입력하는 화면이다. 먼저 복수물류센터의 해를 구하는 VRP 모델에서 시간제약을 받는 경우와 받지 않는 경우로 나누어 개발하였다. 그리고 단일 물류센터 문제로 변환되면 이를 최적해를 구하는 GA-TSP 모델에서 최적차량경로문제를 해결하였다. <그림 4>은 각 물류센터별로 보유하고 있는 차량의 종류와 보유대수를 입력하는 화면이다.

그림 3. 파라메타 설정화면

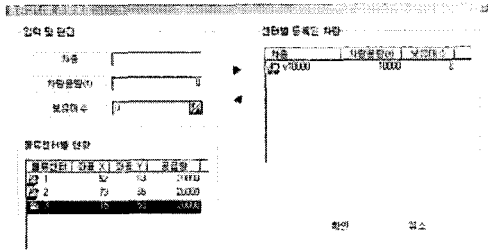


그림 4. 물류센터별 보유차량 설정화면

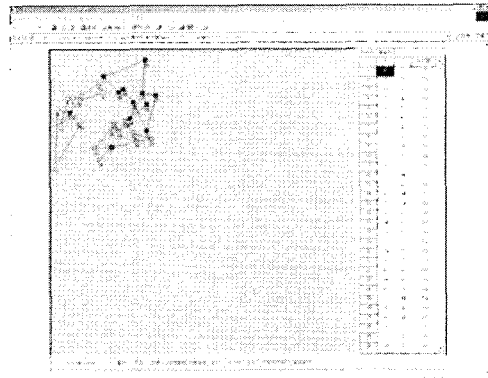


그림 5. 수요지가 30개인 결과 화면

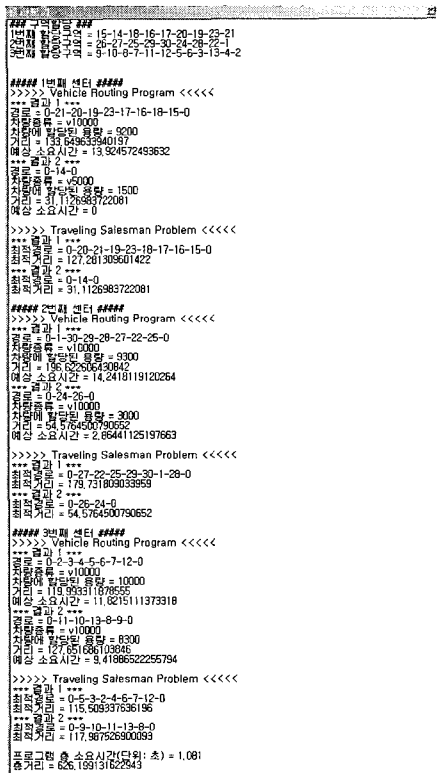


그림 6. 수요지가 30개인 텍스트 결과 화면

<그림 5>는 물류센터별로 구역할당이 된 후 최적의 차량경로계획을 표시한 결과 화면이다. 그 결과 값은 <표 4>에 정리되어 있다.

<그림 6>는 물류센터가 3개이고 수요지가 30개인 경우의 최적차량경로의 결과 화면을 나타낸다. 물류센터별 구역할당 결과와 차량경로문제의 1차 해인 VRP 결과 및 최적해인 GA-TSP결과가 나타나 있다. 그리고 프로그램의 수행시간과 총거리가 표시되어 있다.

4. 모델의 응용

본 연구에서 제시한 발견적 알고리즘 및 개선된 유전자 알고리즘을 이용한 2 단계의 최적차량경로계획 모델을 평가하기 위하여 Gillett & Miller가 제시한 기존문제와 Christofides & Eilon의 기존문제 3가지와 Solomon 데이터를 이용하여 Clarke & Wright의 saving 알고리즘과 본 모델에서 제시한 개선된 saving 알고리즘 및 GA-TSP와 비교 분석하였다. 기존문제의 구성은 <표 3>와 같다.

표 3. 기존문제의 구성표

문제 번호	수요지 수	수요량의 범위	차량용량	물류센터 극좌표	자료근거
1	21	100-2500	6000	(145, 215)	Christofides & Eilon
2	22	60-4100	4500	(266, 235)	Christofides & Eilon
3	29	100-3100	4500	(162, 354)	Christofides & Eilon, Gillett & Miller

본 모델에서 제시한 발견적 알고리즘의 평가에 사용된 컴퓨터는 펜티엄4 2.4G CPU를 장착한 Windows 2000 Server 운영체제하에서 수행하였다. 그에 반하여 기존문제의 환경은 Silicon Graphics Workstation, 36Mhz, 5.7Mflops과 IBM360/67를 사용하여 처리되었다. 이들 3가지 알고리즘을 비교 분석한 결과는 <표 4>에서와 같이 나타나 있듯이 Gillett & Miller 해는 차량의 이동거리가 가장 길고 사용된 차량의 대수가 13대 이다. 그리고 Christofides & Eilon의 해는 차량의 이동거리는 대체적으로 짧게 나타났으며, 차량의 대수는 12대 이다. 그리고 본 연구에서 제시한 VRP 모델은 대체적으로 차량의 이동거리는 중간수준이며 차량대수 10대 이다. 따라서 종합적인 면을 고려해 볼 때 GA-TSP 모델이 차량의 이동거리 면과 사용된 차량의 대수도 가장 작게 사용되었다.

표 4. 본 연구와 기존연구 거리비교 (괄호안 수는 차량수)

문제 번호	수요지 수	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)	545(3)	700(3)	599(3)

그리고 더 많은 비교를 위해 Solomon 데이터를 사용하여 Clarke & Wright(C&W)의 saving 알고리즘과 본 연구에서 제시한 개선된 saving 알고리즘을 이용한 모델인 VRP 모델 및 GA-TSP 모델을 비교하였다. 그 결과는 <표 5>과 같고, Solomon 데이터에서 사용된 차량 용량은 동일하게 200이고 물류센터 극좌표는 (70, 70)이다. 여기서 알 수 있는 것은 C&W모델 보다 VRP모델이 대체적으로 차량의 이동거리가 짧게 나타난다. 그에 반하여 GA-TSP 모델이 두 모델 보다 차량의 이동거리가 짧은 것을 알 수 있다.

표 5. 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

개발된 프로그램의 Sample 문제는 수요지가 30개인 경우에 대하여 테스트하였다. 그리고 수요량의 범위는 차량적재용량을 초과하는 경우와 미달하는 경우로 혼합하여 분석하므로 알고리즘을 검증할 수 있었다. 수요지가 30개인 경우로 물류센터가 3개로 설정하여 테스트를 실시하였다. 또한 Sample 문제의 제약과 차량의 총 이동거리 및 물류센터별 극좌표의 결과는 다음과 같다. 수요지가 30개인 경우의 물류센터 1의 극좌표(1,52,83), 차량용량이 V10000인 경우의 차량이동거리=127.28Km, V5000인 경우의 차량이동거리=31.11Km, 물류센터 2의 극좌표 (2,79,36), 차량용량이 V10000인 경우의 차량이동거리 =179.73Km, V5000인 경우 차량이동거리=54.57Km, 물류센터 3의 극좌표(3,15,53), 차량용량이 V10000인 경우의 차량이동거리=115.50Km, V10000인 경우의 차량이동거

리=117.98Km이다. 그리고 프로그램 총 수행시간은 1.091초가 소요되었고, 차량의 총 이동거리=626.20Km이다. 이를 표로 요약하면 <표 6>과 같다.

표 6. 수요지점과 차량에 관한 문제의 제약

수요지의 수	수요량의 범위	차량 적재 용량	물류센터 극좌표	차량번호	차량의 총 이동거리(Km)
30	600~1900	5000 10000	(1,52,83)	V10000	127.28
				V5000	31.11
			(2,79,36)	V10000	179.73
				V5000	54.57
			(3,15,53)	V10000	115.50
				V10000	117.98

5. 결론

본 연구는 차량의 시간 제약이 존재하는 차량경로계획 문제를 해결하기 위한 알고리즘을 개발하는데 있다. 이러한 문제를 해결하는데 유용한 기법중의 하나인 유전자 알고리즘을 사용하였다. 특히 차량경로문제의 근사해 접근 방법에 큰 영향을 미치는 개선된 인접인자 재결합 교차연산자를 사용한 Network VRP 프로그램을 개발하였다. 프로그램의 특징은 다양한 수요지가 정해져 있는 경우 복수물류센터의 위치를 결정할 때, 또는 단일 물류센터를 결정할 때도 사용가능하다. 또한, Sample 예제를 통하여 차량의 종류별 차량경로계획과 배송하는데 소요되는 시간 및 적재된 차량의 용량을 쉽게 알아볼 수 있으며, GA-TSP를 이용하여 최적차량경로와 그때의 차량운송거리를 알 수 있다. 개발된 모델의 우수성을 비교하기 위해 Solomon 데이터를 사용하여 Clarke & Wright의 saving 알고리즘과 본 연구에서 제시한 개선된 saving 알고리즘을 사용한 모델인 VRP 모델 및 GA-TSP 모델을 비교하였다. 그 결과는 Clarke & Wright모델 보다 VRP 모델이 약간 우수하였고, 그에 반하여 본 연구에서 개발한 GA-TSP 모델이 두 모델 보다 확실하게 우수함을 나타내고 있다. 결론적으로 본 연구에서 개발된 VRP모델은 초기해에 해당되는 것으로 차량별로 수요지가 할당되는 모듈이며 차량별로 수요지를 배송하는 순서를 결정하는 것은 GA-TSP모델이다.

참고 문헌

- [1] 기타노 히로아키 · 조성배, "유전자 알고리즘," 대청, 19-232, 1996.

- [2] 김여근 · 윤복식 · 이상복, “메타 휴리스틱,” 영지문화사, 3-184, 1997.
- [3] Chapleau, L, "Clustering for Routing in Dense Area," *University of Montreal Transportation Research Center Publication*, No. 206, 1981.
- [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, 255-282, 1981.
- [5] Christofides, N. and S. Eilon, "An Algorithm for the Vehicle Dispatching Problem", *Operational Research Quarterly*, Vol. 20, No. 3, 309~318, 1969.
- [6] Clarke G. and J. Wright, "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points," *Operations Research*, Vol.12, No. 4, 568-581, 1964.
- [7] D. Whitley, T. Starkweather, and D. Fuquay, "Scheduling Problems and Traveling Salesman: The Genetic Edge Recombination Operator." *Proc. of the 3rd Int. Conf. of Genetic Algorithms*, Morgan Kaufmann Publishers, Los Altos, CA, 133-140, 1989.
- [8] Dantzig, G., Fulerson, D. & Johnson, S, "Solution of a large scale traveling salesman problem", *Oper. Res.* 39 3~410, 1954.
- [9] Dror, M. and P. Trudeau, "Split Delivery Routing," *Naval Research Logistics*, Vol. 37, No. 3, 383-402, 1990.
- [10] Fisher, M. L. and R. Jaikumar, "A Generalized Assignment Heuristic for Vehicle Routing," *Networks*, Vol. 11, No. 2, 109-114, 1981.
- [11] Gendreau, M., A. Hertz, and G. Laporte, "A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem", *Management Science*, Vol. 40, No. 10, 1276~1290, 1994.
- [12] Gendreau, M., A. Hertz, and G. Laporte, "New Insertion and Postoptimization Procedures for the Traveling Salesman Problem," *Operations Research*, Vol., 40, 1086-1094, 1992.
- [13] Golden, B., I. Bodin, T. Doyle, and W. Stewart Jr, "Approximate Traveling Saleman Algorithm," *Operations Research*, Vol., 28, 694-711, 1980.
- [14] I. M. Oliver, D. J. Smith and J. R. C. Holland, "A Study of Permutation Crossover Operatorson the Traveling Salesman Problem", *Proc. of the 2st Int. Conf. of Genetic algorithms*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, 224-230, 1987.
- [15] Jeffrey Braca et al, "A computerized approach to the New York City school bus routing problem", *IIE Transaction Vol 29*. p693~702, 1997.
- [16] J. J. Grefenstette, R. Gopal, B. Rosmaita, and D. Van Gucht, "Genetic algorithm for the traveling salesman problem", *Proc. of the 1st Int. Conf. of Genetic algorithms*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, 160-168, 1985.
- [17] Laporte, G, "The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms", *European Journal of Operational Research*, Vol. 59, No. 3, 345-358, 1992.
- [18] Laporte, G., M. Desrochers, and Y. Nobert, "Two Exact Algorithms for the Distance-constrained Vehicle Routing Problem," *Networks*, Vol. 14, No. 1, 161-172, 1984.
- [19] Lin, S, "Computer Solutions of the Traveling Salesman Problem," *Bell System Technical Journal*, Vol. 44, No. 10, 2245-2269, 1965.
- [20] Lin, S. & Kernighan, B. W, "An effective heuristic algorithm for the traveling salesman problem", *Oper. Res.* 498~516, 1973.
- [21] Miller, C., E., Trucker, A. W. & Zemlin, R. A, "Integer programming formulations and the traveling salesman problem", *J. Assoc. Comput. Mach.*, 324~329, 1960.
- [22] P. Augerat, et al, "Computational results with a Branch and Cut Code for the Capacitated Vehicle Routing Problem", *France, Vale`ncia Univ*, 1995.
- [23] P. Miliotis, "Inerger Programming Approaches to the Traveling Salesman Problem," *Math. Prog.* 10, 367-378, 1976.
- [24] P. Miliotis, "Using Cutting Planes to Solve the Symmetric Traveling Salesman Problem," *Math. Prog.* 15, 177-188, 1978.
- [25] Russell, R. A, "An Effective Heuristic for the M-tour Travelling Salesman Problem with Some Side Constraints," *Operations Research*, Vol. 25, No. 3, 517-524, 1977.
- [26] Sam R., H. Osman., Tong Sun, "Algorithms for the Vehicle Routing Problams with Time Deadlines", *American J. of Math. & Management Science*, 13(3&4), 323-355, 1994.
- [27] Shin, H. W, "Vehicle routing for the delivery using Hybrid Genetic Algorithm", *Hanyang University*, Seoul, 1994.
- [28] Solomon, M., Desrosiers, M., Desrosiers, J. "A New Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", *Operations Research*, Vol. 40, No. 2, 342-354, 1992.

[29] Victor M. Kureichick, Victor V. Miagkikh, et al, "Genetic Algorithm of The Traveling Salesman Problem with New Features against Premature Convergence", *Taganrog State University of Radio-Engineering*, Rusia, 1995.

[30] V. M. Kureichick, A. N. Melihov et al, "Some new features in genetic solution of the traveling salesman problem" *ACEDC, Taganrog State University of Radio-Engineering*, Rusia, 1996.

[31] Weilin, "High Quality Tour Hybrid Genetic Schemes for TSP Optimization Problems", *State University of New York*, 1992.

이 상 철(Sang-Cheol Lee)

[정회원]



- 1976년 2월 : 동아대학교 공업경영학과 (공학사)
- 1984년 2월 : 동아대학교 공업경영학과 (공학석사)
- 1991년 2월 : 동아대학교 산업공학과 (공학박사)
- 1981년 3월 ~ 2006년 2월 : 동명대학 산업경영과 교수

- 2006년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 경영학과 교수

<관심분야>

생산관리, 물류관리, 경영과학

류 정 철(Jeong-Cheol Yu)

[정회원]



- 1987년 2월 : 경일대학교 산업공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 동아대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 동의대학교 산업공학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 경남정보대학 경영정보계열 겸임조교수

<관심분야>

물류관리, 공장자동화, ERP