

# 일반거리산정방법을 이용한 다-물류센터의 최적 수송경로 계획 모델

황홍석\*

## A Vehicle Routing Model for Multi-Supply Centers Based on Lp-Distance

Heung-Suk Hwang

### 〈Abstract〉

This study is focussed on an optimal vehicle routing model for multi-supply centers in two-echelon logistic system. The aim of this study is to deliver goods for demand sites with optimal decision. This study investigated an integrated model using step-by-step approach based on relationship that exists between the inventory allocation and vehicle routing with restricted amount of inventory and transportations such as the capability of supply centers, vehicle capacity and transportation parameters. Three sub-models are developed: 1) sector-clustering model, 2) a vehicle-routing model based on clustering and a heuristic algorithm, and 3) a vehicle route scheduling model using TSP-solver based on genetic and branch-and-bound algorithm. Also, we have developed computer programs for each sub-models and user interface with visualization for major inputs and outputs. The application and superior performance of the proposed model are demonstrated by several sample runs for the inventory-allocation and vehicle routing problems.

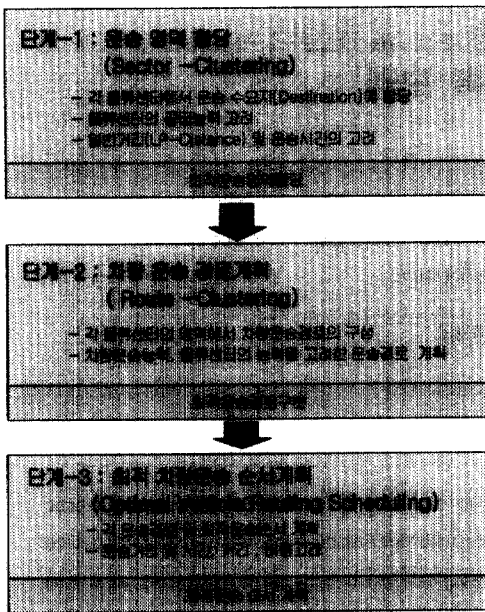
Key Words : Inventory-Allocation, Vehicle Routing Problem, TSP, Logistics

### 1. 서 론

최근의 물류비용의 상승과 물류시스템의 복잡화, 다양화 및 정보화 추세에 따라 체계적인 물류시스템의 최적화를 위한 연구 노력이 확대되고 있다. 본 연구에서는 이러한 물류시스템 중 다-물류센터(Multi-Supply Centers)의 경우, 수요지(Destination)들의 위치와 수요 및 물류센터의 후보지가 알려진 경우의 최소 물류비용을 목적으로 하는 수송 경로계획 문제를 다루었다. 일반적으로 물류 경로계획모델에 관한 연구는 매우 많이 연구되어 왔으며 대부분 수리모델(Mathematical Model)[11],

[10]과 시뮬레이션모델[8],[12],[7] 등이 연구되고 있다. 본 연구에서는 이러한 기존의 연구들에서부터 다음과 같은 내용들을 확장 연구하였다. 즉 변형된 유전자 알고리즘(Modified Genetic Algorithm)과 복합 동적 프로그래밍 알고리즘(Hybrid Dynamic Programming Algorithm) 등을 개발하여 사용하였으며, 실무 응용에 편리하도록 입·출력 내용의 시각화 프로그램을 개발하였다. 또한 운송거리 산정 방법을 기존의 대부분의 연구에서 사용하고있는 직선거리(Euclidean Distance)방법을 확장하여 일반거리 산정방법(Lp-Distance)을 응용하여 일반화하였다. 또한 본 모델은 기존의 단일 물류센터 문제로부터

\* 동의대학교 산업공학과 교수



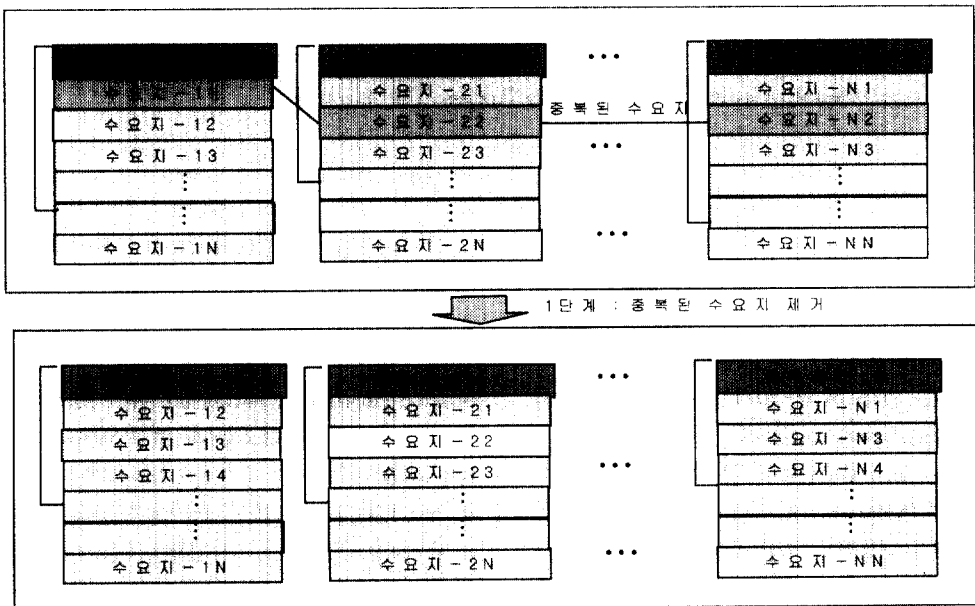
〈그림 1〉 모델의 구조

다-물류센터의 문제로 확장 연구하였으며 각 물류센터의 보급 능력과 운송장비의 능력 등을 고려하여 총 운송거리, 또는 총

운송시간 및 총 물류비용 등을 최소화하는 운송계획을 구하는 모델로서 〈그림 1〉과 같이 3개 단계의 부 모델(Sub-model)로 구성되었으며, 각 부 모델을 위한 전산프로그램을 개발하였으며 사용자를 위한 입·출력을 시각화 개발하고 응용사례를 통하여 본 모델의 실용성을 보였다. 첫 번째로 각 물류센터(Supply Center)의 영역 할당(Sector Clustering) 문제이고, 두 번째로 각 운송영역에서의 차량 운송 경로계획(Vehicle Routing Clustering)문제 그리고 세 번째로 각 차량 운송경로(Vehicle Routing)내에서의 각 수요자에의 운송순서 계획(Vehicle Routing-Scheduling) 문제들을 다루었다. 본 연구의 주요 배경은 앞에서와 같이 기존의 각 분야별 3가지 접근방법을 단계별로 최적화 하는 기법을 적용한 물류센터의 최적 차량 경로모델을 개발하는데 있다.

## 2. 물류센터의 운송영역할당모델 (Sector-Clustering Model)

본 연구에서는 다 물류센터( $1, \dots, C_N$ )의 문제의 해를 구하기 위하여 단계별 접근방법을 사용하였으며, 첫 번째 단계로 수요지( $D_1, \dots, D_N$ )를 각 물류센터별로 분류, 할당하는 영역배분(Sector-Clustering)방법을 사용하여 단일 물류 센터문제로 변



〈그림 2〉 영역할당의 단계 예

환시켰다. 이는 각 물류센터(Supply Center)에서 가까운 거리에 있는 수요지(Destination)를 각 물류센터에 먼저 할당한다는 가정을 두고있다. 본 연구에서 사용한 영역 배분(Sector Clustering)을 위한 알고리즘은 다음과 같다.

1) 각 물류센터에서 수요지까지의 거리 산정(일반거리(LP-Distance) 방법으로 산정) 운송 경로 순서계획에서 수요지간의 거리의 산정은 기존 논문에서 사용된 직선거리(Euclidean distance), 맨해튼거리(Manhattan distance), 최대거리(Maximum distance), 지리상의 거리(Geographical Distance), 의사 직선거리(Pseudo Euclidean distance) 등이 있지만, 본 논문에서는 일반거리(LP-Distance)를 사용하였으며, 일반거리의 산정 식은 다음과 같다.

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

여기서,  $d(x, p)$  = 거리,  $(x, y)$  = 시작점,

$(a_i, b_i)$  = 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.

2) 각 물류센터에서 각 수요지까지의 거리의 오름차순으로 정렬하고 각 물류센터의 수요량을 고려하여 수요 지를 할당한다.

3) 각 물류센터(Supply Center)의 공급 능력을 고려하여 수요지를 할당한다.

4) 각 물류센터에 할당된 수요지를 비교 확인하여 중복된 수요지가 있는지 체크한다. 만일 중복된 수요지가 없는 경우 최적해라고 가정하고 끝낸다. 중복된 수요지가 있는 경우 5) 단계를 계속한다.

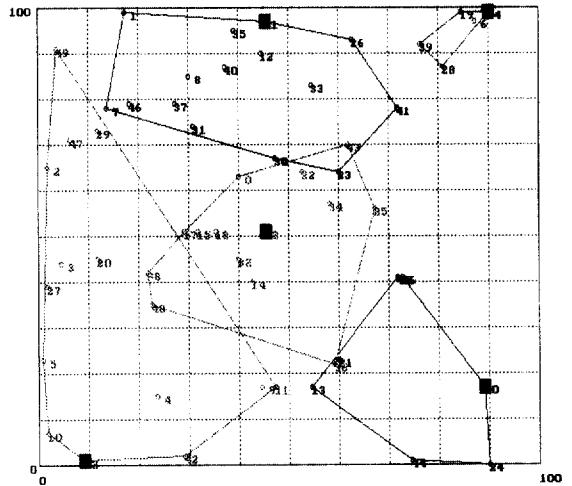
5) 중복된 수요지가 있는 경우 중복된 수요지를 다음의 5 단계로 제거한다.

- ① 중복된 수요지들 중 물류센터와의 거리가 가장 작은 수요지 한 개를 선택한다.
- ② 중복된 수요지의 각 물류센터별 정렬된 순서상의 위치를 고려한다.
- ③ 중복된 수요지의 각 물류센터별 정렬된 순서상의 거리를 계산한다.
- ④ 중복된 수요지를 한 개의 물류센터에 배정하기 위해 물류센터와 수요지 간의 총 거리를 최소로 하는 물류센터

에 중복된 수요지를 배정한다.

- ⑤ 중복된 수요지 중 한 개의 수요지를 물류센터에 배정하고 나머지 수요지는 물류센터에서 제거하고 다시 단계 3)으로 간다.

〈그림 2〉는 각 물류센터에 수요지를 할당하는 절차를 표시한 것이다. 각 물류센터에 수요지-11과 수요지-22 ... 수요지-N2가 중복 할당된 경우이며, 영역배분을 위한 절차를 적용하여 수요지-22를 물류센터에 할당하고, 나머지 물류센터에서는 제거시키는 단계를 표시한 것이다. 그리고 위의 알고리즘에 따라 전산프로그램을 개발하고 45개의 수요지를 5개의 물류센터에 대해 각각의 영역 배분을 한 출력 예를 〈그림 3〉과 같이 블록포체(Convex Hull)로 표시하였다.



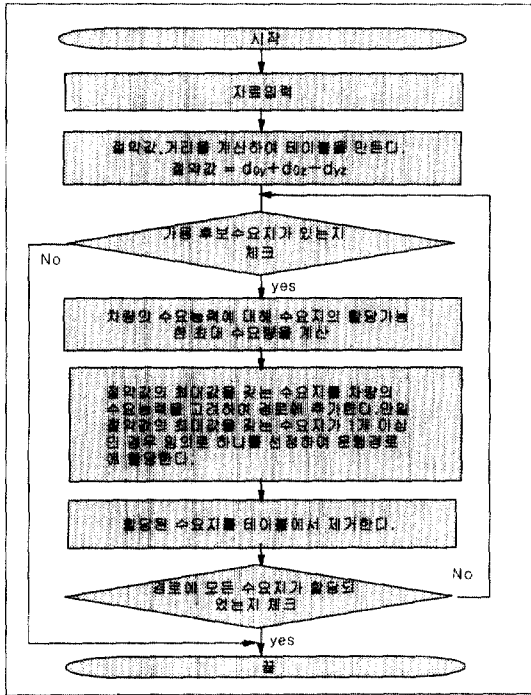
〈그림 3〉 영역할당 모델의 출력 예: (5개의 물류센터와 45개의 수요지의 경우)

### 3. 차량 운송경로계획 모델 (Route-Clustering Model)

단계 1의 운송 영역 할당 알고리즘에 의해서 다-물류센터의 문제를 단일 물류센터 문제로 변환하였으며 각 물류센터에 대하여 최적 운송 경로를 구하는 단계이다. 먼저 운송 경로를 설정하기 위하여 기존의 Saving 알고리즘[1]을 사용하여 운송 경로를 설정하였고, 두 번째는 Saving 알고리즘과 Gillet와 Miller [4]의 Sweep 알고리즘으로부터 복합 클러스터링 알고리즘 (Hybrid Clustering Algorithm)을 개발하였다.

3.1 Clarke와 Wright의 Saving알고리즘

Clarke와 Wright의 Saving알고리즘은 Danzig and Ramzer[2]의 기법을 수정한 방법으로, 임의의 두 수요지점이 경유되지 않고 별도의 차량으로 운송될 때에 비하여 한대의 차량에 의해 경유될 경우의 비용의 절약(Savings)값이 큰 수요지점이 우선적으로 경유하도록 수요지점을 할당하는 방법이다. Clarke와 Wright의 알고리즘의 계산절차는 <그림 4>와 같다.



<그림 4> Saving 알고리즘의 흐름도

3.2. 복합 클러스터링 알고리즘(Hybrid Clustering Algorithm)

복합 클러스터링 알고리즘 (Hybrid Clustering Algorithm)은 Gillet and Miller[4]의 Sweep 알고리즘과 Clarke와 Wright[1]의 알고리즘을 기본으로 하여 개발하였다. 이는 목적함수 식 (1)의 L(i)값을 최대화하는 것으로 각 수요지간의 이동시간을 최소화하는 경로를 결정한다. 복합 클러스터링 알고리즘을 위한 절차는 다음과 같다.

- 1) 입력자료로 변수들을 초기화시킨다.
- 2) 각 수요지(Destination)에 대해 물류센터와의 거리를 일반

거리(IP-Distance) 산정방법으로 구한다.

- 3) 전체 거리에 대해 평균이동시간( $\bar{\mu}$ )을 계산한다.
- 4) 차량별로 경로를 구성하기 위하여 물류센터에서 가장 거리가 먼 수요지를 선택한다.
- 5) 그 수요지 에서 거리가 가장 가까운 2개의 수요지를 선택한다.
- 6) 5)에서 선택된 2개의 후보 수요지 에 대해 식 (2)을 이용하여  $L_i$ 값을 각각 구한다. 여기서 계산된 두개의 수요지 중  $L_i$ 값이 큰 수요지를 선택하고 단계 4)의 수요지를 선택된 수요지로 변경하고 현재의 수요지를 차량의 운송능력을 고려하여 경로에 추가한다.

$$L_i = f(t_i, \theta_i, \delta_j) \tag{1}$$

$$L_i = t_i + \mu_j * [\delta * |\theta_i - \theta_j|]^{-1} \tag{2}$$

여기서,  $\theta_i = \arctan \frac{\Delta y_i}{\Delta x_i}$   
 i번째의 수요지의 극 좌표

$$\Delta y_i = y_i - y_0$$

$$\Delta x_i = x_i - x_0$$

$$-\pi \leq \theta_i \leq 0, \text{ if } \Delta y_i \leq 0$$

$$0 \leq \theta_i \leq \pi, \text{ if } \Delta y_i \geq 0$$

$x_i, y_i$  : i번째 수요지의 좌표

$t_i$  : 수요지 i의 이동시간

$\bar{\mu}$  : 모든 위치의 평균이동시간

j : 수요지 i에서 임의적으로 할당되는 수요지

$\delta$  : 근접도를 나타내는 가중치

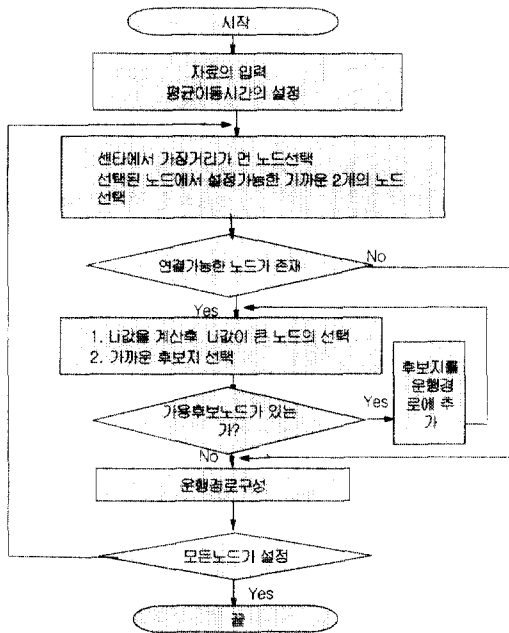
- 7) 모든 수요지가 할당되거나 모든 차량이 할당된 경우 끝낸다.
- 8) 모든 수요지가 차량의 운송능력을 초과하면 가용한 차량의 범위 내에서 새로운 차량경로를 구성하고 단계 5)로 간다.

여기서 가중치  $\delta$ 는 각 위치의 수요지에서 다른 수요지에 대한 가중치(Weight Factor)로서  $\delta$ 가 0으로 근접할 때에는 각 위치의 각에 가중치를 Sweep 알고리즘[5]에 근접하는 경우이고  $\delta$ 가  $\infty$ 로 근접할 때는 Clarke와 Wright의 Saving알고리즘[1]에 가중치를 두는 경우이다. 이것은 근접도  $\delta$ 를 바꿈에 따라 가중치의 균형을 맞출 수 있도록 하였다.

<그림 5>는 복합 클러스터링 알고리즘의 흐름 도를 표시한 것이다. PC수준에서 사용할 수 있도록 Clarke와 Wright의 클

〈표 1〉 Clarke와 Wright의 Saving알고리즘의 적용 예:

Route No.	경로	총 운송 거리	수요량의 합 (Total Dem)
1	1-2-6-11-17-10-1	233	5300
2	1-5-15-1	153	3000
3	1-7-14-12-8-1	149	4800
4	1-3-9-13-16-4-1	100	4900
합계		635	18000



〈그림 5〉 복합 클러스터링 알고리즘의 흐름도

〈표 2〉 복합 클러스터링 알고리즘 적용 예:

Route No.	경로	총운송 거리	총운송량
1	1-6-11-7-2-1	194	5100
2	1-17-15-5-8-1	192	5000
3	1-14-12-16-9-13-1	159	4900
4	1-10-3-4-1	81	3000
합계		626	18000

러스터링 알고리즘과 복합 클러스터링 알고리즘의 전산화 프로그램을 개발하고, 16개의 수요지 와 차량의 운송 능력이 5500인 예제를 적용한 결과를 〈표 1〉 및 〈표 2〉와 같이 비교 하였다. Clarke와 Wright의 클러스터링 알고리즘은 4대의 차량이 필요하고 총 차량의 운송 거리의 합이 635인 반면, 복합

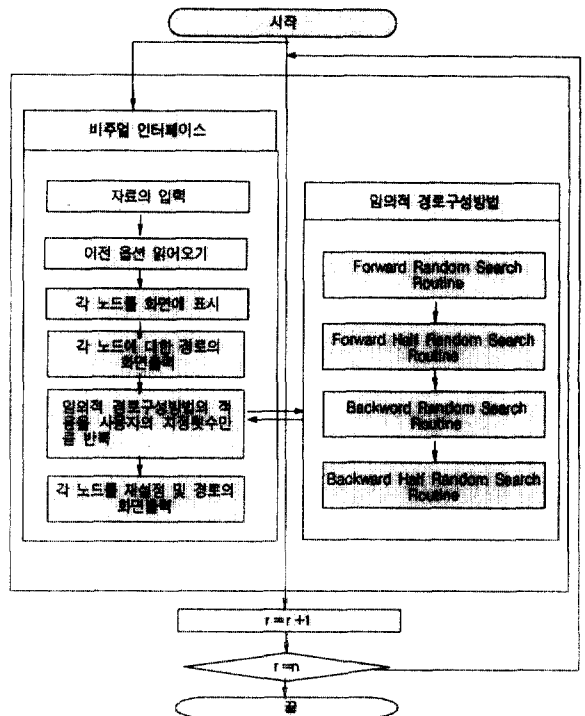
클러스터링 알고리즘은 4대의 차량이 필요하고 총 운송 거리의 합이 626으로 우수한 것을 볼 수 있다.

#### 4. 적정 운송순서계획 모델 (Optimal Vehicle Routing Scheduling)

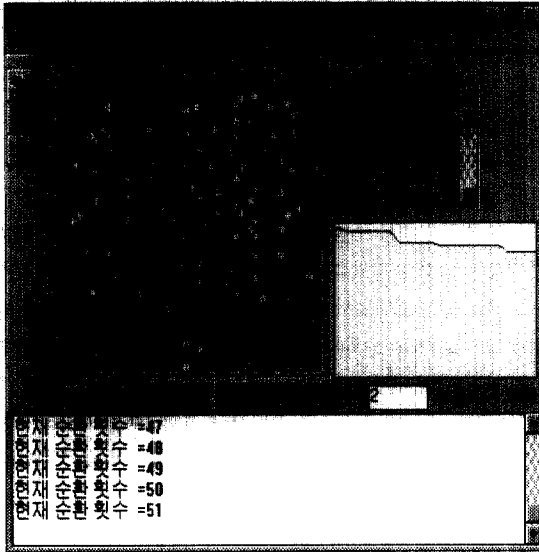
본 모델은 위에서 구한 각 운송경로계획(Route)을 거리, 시간 및 비용이 최소가 되도록 각 Route 내의 운송지점의 방문 순서를 최적화 하는 모델로서 현재 널리 알려져 있는 TSP(Traveling Salesman Problem)문제이다. 이를 위한 수리모델은 널리 알려져 있으나, 본 연구에서는 다음과 같이 3가지 방법을 비교하여 적절한 방법을 사용하였으며 각각의 전산 프로그램을 개발하여 수요지(Node)가 99이고 거리산정 계수,  $p=2$ (직각거리)일 경우의 예를 들어 이들 3가지 방법을 비교하여 보였다.

##### 4.1 Random 알고리즘 모델

이는 물류센터(출발지)로부터 임의의 수요지(Node)를 선정



〈그림 6〉 임의의 경로순서계획 모델의 흐름도

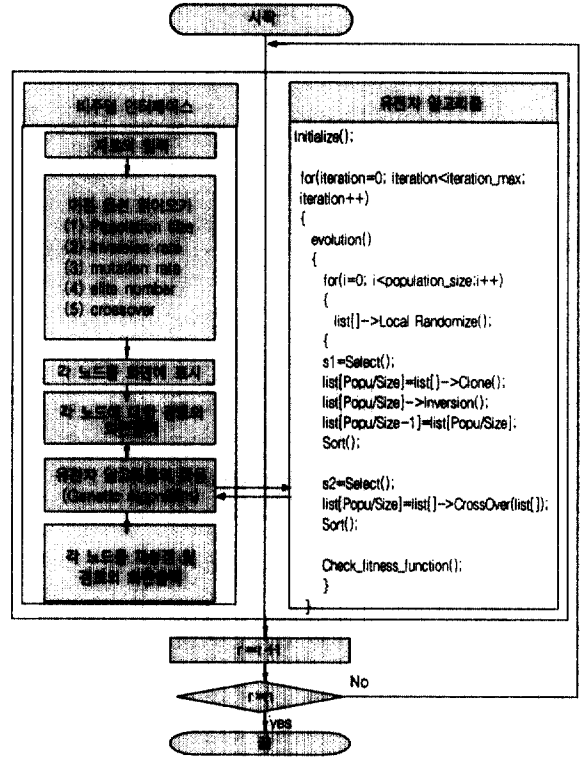


〈그림 7〉 Random-TSP모델의 Sample Run

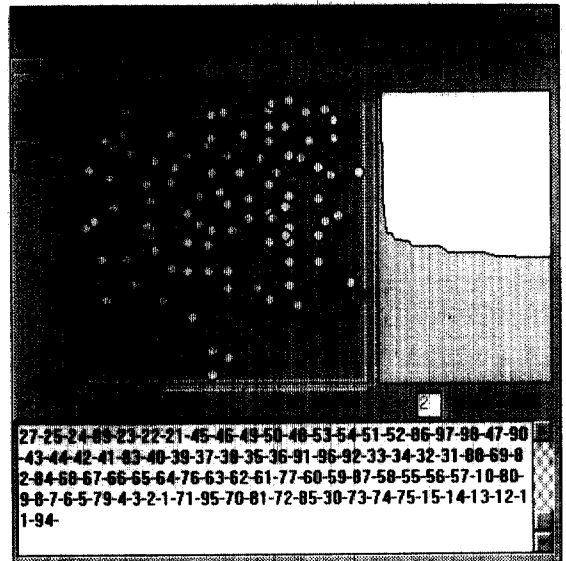
하여 운송하되 전체의 운송 거리(또는 운송 시간)가 감소되는 경로를 Random Search방법으로 찾아가는 방법이다. 이 방법은 3 가지 방법 중 가장 효율이 떨어지는 방법이다. 이 방법의 흐름 도를 〈그림 6〉과 같이 표시하였으며 이의 Sample Run 결과를 〈그림 7〉과 같이 요약하였다.

#### 4.2 유전자 알고리즘(GA) 모델

유전자 알고리즘, GA(Genetic Algorithm)을 TSP문제에 적용시키려는 노력은 여러 논문에서 찾아볼 수 있다[5]. GA는 가능 해의 집단(Population)에서 Mutation, Crossover, 및 Selection 등의 연산자를 사용하여 최적 해를 구하며 표준형 Mutation 및 Crossover 연산자는 TSP 문제에 바로 적용 시에 부분 최적 해를 얻게되어 적절치 못함을 지적한 연구 결과가 발표되었다[6]. 본 연구에서는 이를 보완하기 위하여 Heuristic 방법과 GA를 연결한 방법을 사용한 수정된 GA 연산자를 사용하였다. GA 모델에서는 Crossover 연산자에서 기존의 Grefenstete[5]의 Greedy Crossover 연산자를 인용하였으며, 부분 해를 얻었을 경우 특수한 알고리즘으로 Population의 Individual 개수를 수정하여 부분 해를 얻는 경우를 제거하는데 중점을 두었다[12]. 이의 흐름 도는 〈그림 8〉과 같으며 본 모델을 위한 전산화 프로그램을 개발하고, Sample Run 결과를 〈그림 9〉와 같이 요약하였다.



〈그림 8〉 GA-TSP모델의 흐름도



〈그림 9〉 GA-TSP모델의 Sample Run 결과

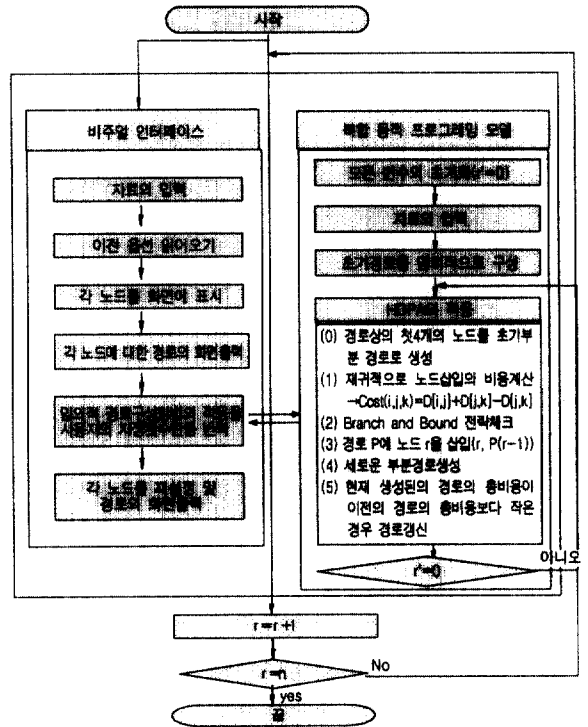
### 4.3 복합 동적 프로그래밍 모델

복합 운송 경로모델(HDPA : Hybrid Dynamic Programming Algorithm)은 동적 계획법의 원리를 기초로 하고 있으며, Branch and Bound Algorithm을 변형 혼합하여 운송경로 순서 계획의 근사 해를 얻을 수 있도록 하였다. 복합 운송 경로모델은 현재 구성된 부분경로가 최적경로이면 복합 운송 경로모델에 의해 새로운 수요지가 추가 할당되더라도 그 부분경로는 목적함수를 만족시키는 최적의 경로를 유지한다는 가정을 기본으로 하고있다. 복합 운송 경로모델은 가능 해의 영역(Feasible Region)에서 최선의 해(Maximal, Minimal)를 구하기 위하여 동적 계획법에 의한 삽입절차를 사용하였으며 Sample Run에 의하면 운송 경로 순서계획에서 해 집합의 크기가 100개 이하인 경우 근사해(Near Optimal Value)를 빠른 시간 안에 찾아 준다. 그러나 부분경로에 수요지의 삽입 시 수요지의 탐색횟수의 증가는 선형적으로 증가한다. 즉  $N'$ 가 부분경로의 수요지 개수이면 새로운 수요지 삽입 시  $(N'-1)$ 의 탐색을 요하게 되므로 개수가 100개 이상일 경우 계산 량이 증가하여 전체 실행속도가 떨어지는 편이다. 복합 운송 경로모델을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 경로를 구성할 자료를 입력받는다.
- 2) 임의적으로 모든 수요지에 대해 경로를 구성한다.
- 3) 2)에서 구한 경로 중, 4개의 수요지를 선정하여 하나의 초기 부분경로를 생성한다.
- 4) 순차적으로 수요지를 할당한다.
  - ① 순차적으로 수요지를 한 개씩 선정한다.
  - ② 선정된 수요지를 부분 경로상의 모든 수요지에 대해 삽입비용  $Cost(i,j,k)=D[i,j]+D[j,k]-D[i,k]$ 을 계산 한다. 수요 지의 개수가 많은 경우 수요지 삽입의 탐색 횟수를 줄이기 위한 기법으로 변형된 Branch-and Bound 방법을 적용한다.
  - ③ 삽입 비용이 가장 적은 수요지 간의 위치를 선정한다.
  - ④ 수요지를 부분경로에 할당한다.
  - ⑤ 모든 수요지가 할당되었는지 체크한다.
  - ⑥ 수요지가 물류센터의 수요량을 고려해 할당 가능하면 단계 4로 가고 그렇지 않으면 끝낸다.

여기서,  $D[i,j]$ 는 수요지  $i$ 에서 수요지  $j$ 로 이동시의 거리,

$Cost(i, j, k)$ 는 수요지  $i$ 와 수요지  $k$ 사이에 수요지  $j$ 를 추가 시에 드는 비용,  $P(r)$ 는 수요지  $r$ 개에 대한 부분경로,  $r$ 은 현재의 순환횟수이며  $n$ 은 전체 순환횟수이다[14]. 이의 해를 구하는 전산 프로그램의 흐름 도를 표시하면 <그림 10>과 같다.



<그림 10> 복합 운송경로모델의 흐름도

### 4.4 최적 차량 운송순서계획 모델의 비교

위의 3개의 모델을 Node가 99인 같은 예제를 각각의 3가지의 알고리즘에 대하여 1000번의 반복횟수를 적용한 결과를 <표 3>에 요약하였다. 이 결과를 보면 반복계산횟수가 클수록 GA 방법과 HDPA방법의 결과는 큰 차이는 없으나 Run Time이 GA방법이 월등하게 적고 추후확장 연구의 가능성이 매우 크다. 본 연구에서는 HDPA 방법에 의한 TSP 모델을 활용하였다. 또한 위의 모델에서 일방거리(LP-Dis.)산정 방법을 사용하여, 교통환경 파라메터인 P값을 각각 1.0, 1.5, 2.0, 및 3.0으로 변화시키면서 각 경로에 대한 최소 운송거리를 계산한 결과를 <표 4>에 요약하였다.

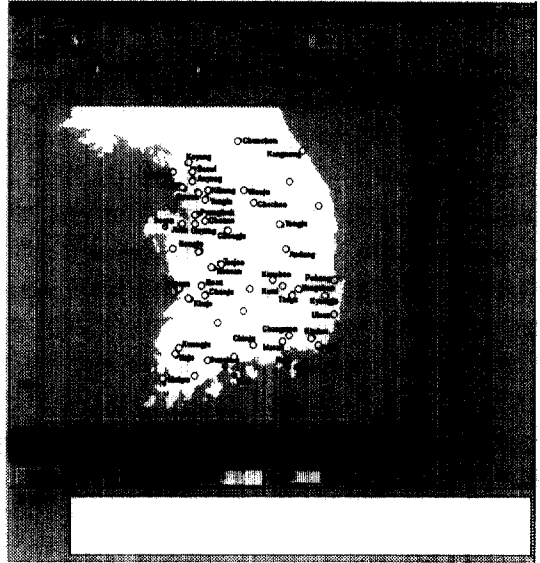
〈표 3〉 3가지 최적 차량 운송순서계획 모델의 Sample Run의 비교

TSP 모델 구분	최소 운송거리	가능한 Node	Run Time
1) Random TSP 모델	1,244	100	25.6
2) GA TSP 모델	685	100	3.5
3) HDPA TSP 모델	572	100	5.5

〈표 4〉 P값의 변화에 따른 최적 운송거리

반복 수	P값				
	노드의 개수	1.0	1.5	2.0	3.0
1	10	320	271	255	241
	30	554	451	435	389
	50	552	462	434	397
	75	690	601	549	497
	99	868	764	672	645
50	10	320	271	255	241
	30	526	451	419	389
	50	538	454	425	389
	75	676	579	538	493
	99	846	727	673	624
100	10	320	271	255	241
	30	526	451	419	389
	50	538	454	425	389
	75	676	579	536	492
	99	846	724	672	624

(VRP)를 3 단계의 순차적 접근방법으로 해를 다음과 같이 구하였다.



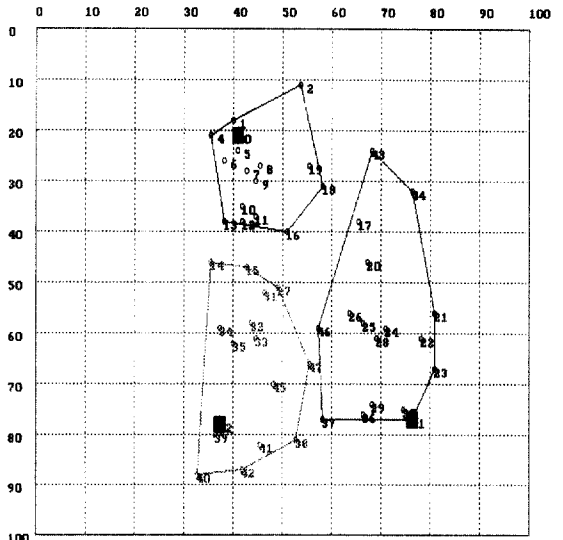
〈그림 11〉 ABC전자회사의 전국 물류 수송망

● 단계 1 : 운송 영역 할당

다-물류센터 문제에서 단일 물류센터 문제로 변형하기 위하여 운송 영역 할당(Sector Clustering)을 하였으며, 각 물류센터

5. 모델의 응용

본 모델의 응용을 위하여 전국 물류 네트워크를 가지고 있는 전자회사의 전국 전자 제품 공급계획의 문제에 본 모델을 적용하여 최적 운송 계획을 수립하고자 한다. 본 모델의 응용을 위한 입력 자료로는 서울, 부산, 광주 3곳의 물류센터의 위치 좌표와 공급 능력, 그리고 각 47개소의 전국 수요지에 대한 좌표상의 위치와 각각의 수요량 그리고 각 물류센터별 운행 가능한 운송장비의 대수(5)와 운송장비의 운송능력(400) 등이다. 그리고 일반거리(LP-Distance)의 P값은 2.0을 고려하였다. 이 전자회사의 각 물류센터의 공급 가능량의 합은 각 수요지의 수요량의 합과 같다. 이 물류 수송망의 물류센터를 포함한 수요지의 좌표상의 위치를 도시하면 〈그림 11〉과 같다. 여기서 다-물류센터(Multi-Supply Centers)의 차량 경로 문제



〈그림 12〉 영역 분할을 적용한 예



터(Supply Center)별 운송 영역 할당을 한 결과 <표 5>와 같다. 각 물류센터별 할당된 수요지를 볼록포체(Convex Hull)로 표시한 것이 <그림 12>이다.

● 단계 2 : 차량 운송 계획

운송 영역 할당(Sector Clustering) 모델을 적용하여 구한 단일 물류센터 문제로 변형된 자료를 사용하여 차량 운송계획에서는 차량의 수요능력을 고려한 운송그룹을 할당함으로써 단

<표 5> 각 물류센터별 영역할당 출력 (3개 물류센터, 99개 수요지)

물류센터	수요지의 번호	위치(x, y)	수요량	총 수요량
물류센터-1 좌표:(45, 21) 수요량:1000	1	(44, 18)	20	1000
	5	(45, 24)	65	
	6	(42, 26)	80	
	4	(39, 21)	70	
	8	(50, 27)	50	
	7	(48, 28)	60	
	9	(49, 30)	95	
	10	(46, 35)	85	
	11	(49, 37)	40	
	19	(61, 27)	75	
	2	(59, 11)	90	
	12	(46, 38)	75	
	13	(42, 38)	80	
	18	(64, 31)	80	
물류센터-2 좌표:(84, 77) 수요량:900	16	(56, 40)	35	880
	30	(82, 75)	30	
	29	(75, 74)	70	
	36	(73, 76)	95	
	23	(89, 67)	40	
	22	(86, 61)	45	
	28	(76, 61)	50	
	24	(78, 59)	30	
	37	(64, 77)	40	
	21	(89, 56)	20	
	25	(73, 58)	85	
	26	(70, 56)	90	
	46	(63, 59)	80	
	20	(74, 46)	65	
	17	(72, 38)	20	
44	(84, 32)	50		
43	(75, 24)	70		

<표 5> 계속

물류센터	수요지의 번호	위치(x, y)	수요량	총 수요량
물류센터-3 좌표:(41,78) 수요량:900	39	(40, 80)	35	865
	41	(50, 82)	20	
	42	(46, 87)	40	
	40	(36, 88)	85	
	45	(53, 70)	75	
	35	(44, 62)	50	
	38	(58, 81)	45	
	33	(49, 61)	85	
	34	(41, 59)	60	
	32	(48, 58)	90	
	47	(61, 66)	30	
	31	(51, 52)	60	
	27	(54, 51)	85	
15	(47, 47)	50		
14	(39, 46)	55		

일 물류센터 문제에서 다 경로문제(Route Clustering)로 변형하였다. 차량 운송 계획을 위한 2가지 방법 중 우수한 방법인 복합 클러스터링 알고리즘을 적용한 결과가 <표 6>과 같다.

<표 6> 복합 클러스터링 알고리즘의 적용결과

물류센터	차량 번호	경로	차량의 운반량	물류센터의 총수요
1	1	0-15-12-9-8-13-0	315	1000
	2	0-14-10-7-5-6-0	360	
	3	0-11-2-3-4-1-0	325	
2	1	0-16-15-14-13-11-12-0	375	880
	2	0-10-7-6-2-3-8-0	370	
	3	0-9-4-5-1-0	135	
3	1	0-15-14-13-12-10-0	340	865
	2	0-11-8-9-6-5-2-3-0	360	
	3	0-7-4-1-0	165	
합계				2745

● 단계 3 : 적정 차량 운송 경로순서계획 (Best Vehicle Routing Scheduling)

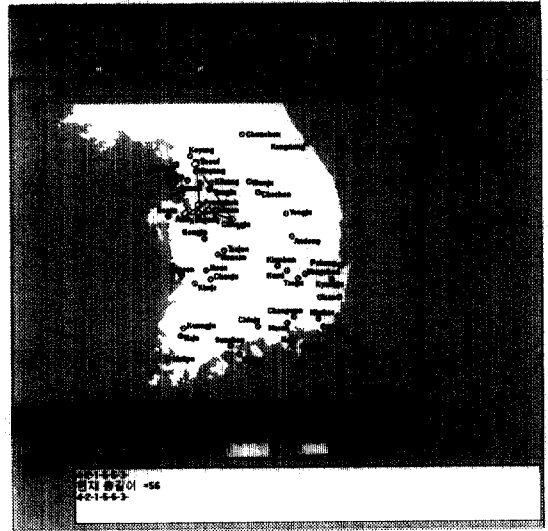
차량 운송 경로계획은 차량 운송계획을 단일 물류센터 문제에서 다 경로문제(Route Clustering)로 변형된 출력 값을 이용하여 각 경로 내에서 각 수요 지의 최적 운송 순서를 결정함

으로서 총 운송거리(또는 시간, 물류비용)를 최소화하였다. 차량 운송경로 계획 결과가 <표 7>과 같으며, <그림 13~15>는 각 물류센터에서의 적정 차량 운송 경로계획의 전산출력 결과이다.

<표 7> 운송 경로 순서계획 모델 결과

물류 센터	차량 번호	경로	차량의 총거리	총거리
1	1	0-15-9-12-13-8-0	56	158
	2	0-6-7-14-10-5-0	49	
	3	0-2-3-4-1-11-0	53	
2	1	0-15-16-14-13-11-12-0	126	240
	2	0-7-6-10-8-3-2-0	68	
	3	0-1-5-9-4-0	46	
3	1	0-15-14-12-13-10-0	79	219
	2	0-3-2-5-8-11-9-6-0	68	
	3	0-7-4-1-0	72	
합계				617

본 논문에서는 이러한 다 물류센터에 대한 3단계 접근 방법을 통하여 각 물류센터 별로 수요지를 할당하고, 각 경로를 산출하여 각 운송경로 내에서 차량 운송 경로순서 계획을 구하였다. 본 예제는 다-물류센터의 최적 운송경로 문제를 3 단

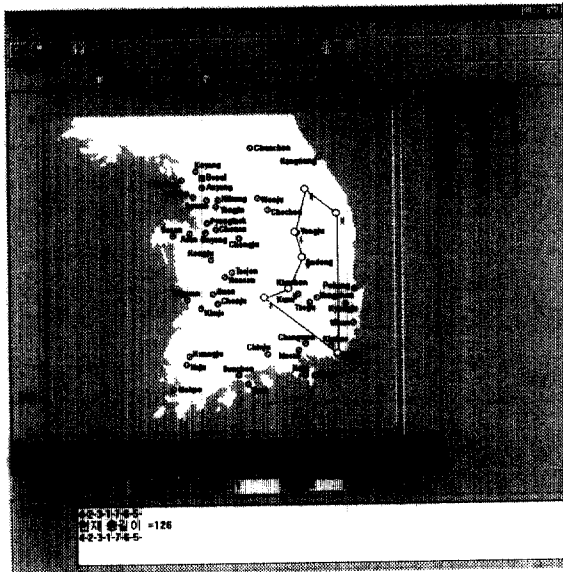


<그림 14> 물류센터 2의 복합 동적 프로그래밍 알고리즘의 적용 예

계의 접근방법으로 해를 구하였으며, 각 단계에서 임의로 경로를 선택한 경우보다 총 운송거리와 시간을 매우 단축 할 수 있는 실용 모델 활용될 수 있도록 입출력을 시각화하였다.

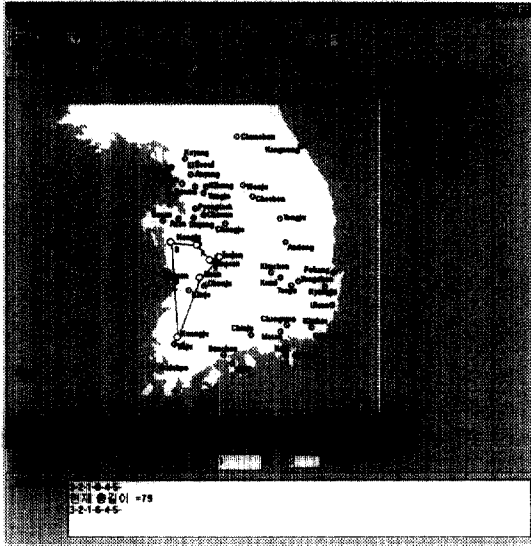
### 6. 결론

본 연구는 다-물류센터의 최적 재고할당 문제(Inventory-Allocation Problem) 및 최적 운송경로(Vehicle Routing Problem)를 동시에 고려한 다-물류센터의 운송 경로 계획 모델의 연구로서, 2-단계의 물류시스템에서 다-물류센터의 경우 물류 시간, 거리, 비용 및 물류 효과 등을 고려하여 최적 물류 경로 결정을 위하여 3 단계의 부 모델(Sub-Model)을 개발하였다. 이는 1) 물류센터의 운송 지역할당 부 모델(Sector Clustering Sub Model), 2) 각 Sector에서의 물류 경로계획 부 모델(Vehicle Route Clustering Sub Model), 및 3) 최적 운송경로 부 모델(Optimal Vehicle Routing Scheduling Sub Model) 등이다. 본 연구에서는 이의 3 단계의 부 모델의 알고리즘과 이의 계산을 위한 전산프로그램을 개발하고 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 입·출력의 사용자 시각화개발을 하여 실용화하였다. 본 모델을 전국 전자제품의 물류 네트워크 문제에 응용하고 그 결과를 보였다. 추후 연구과제로, 북한 지역의 식량 공급을 위한 수송보급 문제에 적용 가능하리라 생각된다. 지역내의 제한된 식량으로 아사자 및 식량 고갈에 따른 고통을 최소화하



<그림 13> 물류센터 1에서 복합 동적 프로그래밍 알고리즘의 적용 예

는 수송보급 계획수립에 유용하게 응용할 수 있으리라 본다.



〈그림 15〉 물류센터 3에서 복합 동적 프로그래밍 알고리즘의 적용 예:

【참 고 문 헌】

[1] Clarke, G. and Wright, J. W., "Scheduling of Vehicles from Central Depot to a Number of Delivery", *Opns. Res.*, Vol.12, pp.568~581, 1964.

[2] Dantzig, G. B., Fulkerson, D. R., and Johnson, S. M., "Solution of a Large Scale Traveling Salesman Problem", *Opns. Res.*, Vol.2, pp.393~410, 1954.

[3] Fisher, M.A., Gereenfield, R.Jaikumar, "A Generallized Assignment Heuristic for Vehicle Routing.", *Networks*, Vol. 11, pp.109~124, 1981.

[4] Gillet, B. E. and Miller L. R., "A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatching Problem," *J. of Opns. Res.*, Vol. 22, No.4, pp.340~349, 1974.

[5] Grefenstette J., et al., "Genetic Algorithm for the Traveling Salesman Problem", *Proc. Int. Conf. of Genetic Algorithm and their Applications*, pp.160-165, 1995.

[6] Kureichick, V.M. and Melikhov, A.N., "Some New Features in Genetic Solution of the Traveling Salesman Problem." *Proceedings of ACEEDC '96*, pp.1~6, 1996.

[7] Lin, S. and Kernighan, B. W., "An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling Salesman Problem", *Oper. Res.*, pp.498~516, 1973.

[8] Macro Dorigo and Luca Maria Gambardella, "A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem", *Libre de Bruxelles Univ*, 1997.

[9] Mark, H. N., "The Traveling Salesman Problem-a Review of Theory and Current Research," Working Paper, pp.1~26. 1997.

[10] Michael Junger and Peter Stormer, "Solving Large-scale Traveling Salesman Problems with Parallel Branch-and-Cut", *Universitat zu Koln Germany*, 1995.

[11] Miller, C.E., Trucker, A.W., and Zemlin, R. A., "Integer Programming Formulations and the Traveling Salesman Problem", *J. Assoc. Comput. Mach.*, pp.324~329, 1960.

[12] Oliver C. Martin and Steve W. Otto, "Combining Simulated Annealing with Local Search Heuristics" *Oregon Graduate Institute of Science & Technology*, June 14, 1994.

[13] Robert Dankin, "The Traveling Salesman Problem", Working Paper, 1997.

[14] Williams, B.W., "Vehicle Scheduling: Proximity Priority Search," *J. Opns., Res.* Vol.33, pp.561~567, 1981.



황흥석(黃興錫)

1963년 육군사관학교 이학사  
 1979년 한국과학원 산업공학 석사  
 1982년 한국과학기술원 산업공학 박사  
 1986~1987 미국체계분석연구소(AMSAA) 교환연구원  
 1982~1990 국방과학연구소(ADD) 책임연구원  
 1990~현재 동의대학교 산업공학과 교수  
 관심분야 물류시스템, 공장계획, 무기 체계분석 및 프로젝트 관리