

유전자 알고리즘을 이용한 최소비용 다용량 차량경로문제의 새로운 접근방법

임무균²⁰⁾, 전건욱²¹⁾

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적

2003년 기능별 국가물류비 추이를 살펴보면, 수송비, 포장비는 전년대비 증가하였으나 재고유지비, 하역비, 물류정보비 및 일반관리비는 감소하였다. 수송비는 꾸준히 증가하는 반면 재고유지관리비는 감소하여 국가물류비 중 수송비가 차지하는 비중은 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 이를 줄이기 위해서 단순한 최소 거리(시간)문제보다는 차량유지비 및 인건비 등의 변동비와 고정비를 종합적으로 고려할 필요가 있다.

본 연구에서는 차량경로문제의 여러 가지 변형 중 다수의 복수차량유형을 가지고 차량 종류별로 각기 다른 운영비용(고정비, 변동비)이 발생한다는 가정하에 최소운영비용 경로를 구성하고 더불어 최적의 차량 조합을 구하는 유전 알고리즘을 제시하여 수송 정책 수립을 위한 의사결정의 기초자료를 제공함과 동시에 보다 합리적이고 효율성 있는 수송 정책 수립에 기여하는데 목적이 있다.

20) 국방대학교 운영분석과 석사과정

21) 국방대학교 운영분석과 부교수

2. 연구 내용 및 범위

본 연구는 유전자 알고리즘을 이용하여 운행비용 최소화를 목적으로 문제를 구성하였으며 제 2장에서는 기존 연구를 검토하여 각 연구별로 목적식의 구성과 해법 등을 소개하고 본 연구와의 차이점을 분석하여 발전시킬 연구방향 설명한다. 제 3장에서는 유전 알고리즘의 이론적 고찰 및 기본모형에 대하여 설명을 하고 본 연구가 구축할 유전 알고리즘 모형에 대한 가정사항 및 모형구축을 위한 세부 기법 등을 제시한다. 제 4장에서는 기존연구의 데이터를 확보하여 실험예제와 비교하고 알고리즘의 효율성을 입증하며 제 5장에서는 결론을 유도하고 향후 연구방향을 제시한다.

II. 기존연구의 검토 및 문제정의

1. 다용량 차량경로 문제

(1) 다용량 차량경로문제의 기존 해법

HVRP(Heterogeneous fleet VRP)는 차량경로문제의 이동거리 최소화의 목적보다는 고정비, 변동비 등의 실제 운영비용의 최소화를 목적으로 하는 문제로서 VFM(Vehicle Fleet Mix)라고도 한다. 기본적인 개념은 각기 다른 용량을 가진 차량들은 각기 다른 운영비용(고정비, 변동비)이 발생한다고 가정하고 총 운영비용이 가장 최소로 하는 최적의 차량 조합을 구하는 것이다.

HVRP의 시초로 Golden et al.는 우선 수요지를 모두 연결시켜 거대한 경로를 만들고 난 후 전체 비용이 최소화가 되게끔 여러개의 경로로 나누어서 사용된 차량의 총 고정비(fixed cost)를 최소화하였다. Gheysens et al은 Golden et al.이 구한 low bound에 의해서 정해진 차량용량과 대수를 이용하여 seed point별로 차량을 할당하는 방법을 개발하였으며 이때 경로가 모두 형성된 후에는 각 경로별로 외판원 순환문제(Traveling Salesman Problem)를 풀어서 경로의 이동거리 최소화를 추구하였다. 이후로 Ferland 와 Michelon은 단일 차량 용량을 이용하던 VRPTW에 각기 용량이 다른 차량조합을 적용하여 HVRP에 적용하였으며 Desrochers와 Verhoog는 기존의 Saving기법을 응용하여서 두 지점을 하나의 경로를 묶었을 때 절약되는 거리 대신 두 경로를 하나로 합쳤을 때 절약되는 거리와 비용을 고려하여 문제를 해결하였으며 Salhi and Rand는 동일한 용량의 차량으로 Clarke & Wright]의 Saving기법을 응용하였다.

최근에는 메타휴리스틱을 이용한 접근방법도 시도되고 있다. Taillard는 타부서치의 AMP

(Adaptive Memory Procedure)를 이용하였고 Ochi et al.는 섬모델에 기초한 병렬유전알고리즘을 이용하여 프로세서별로 각기 해 탐색을 진행하였다. Gendreau et al.는 TSP를 풀기 위해 고안된 GENIUS 삽입기법을 기반으로 타부서치를 적용하였으며 김경훈과 이영훈은 변동비와 고정비의 목적식 가중치에 따라 다양한 결과값을 도출하였으며, 노인규와 하영훈은 유전자 알고리즘을 이용하여 서비스 시간대와 차량별 대수를 구하였다.

본 연구는 운행비용을 거리에 따른 변동비와 차량 종류에 따른 고정비를 동시에 고려하였으며 목적함수식에 운행거리를 변동가중치를 적용하여 해의 개선이 이루어지지 않을 경우 운행거리에 가중치를 점차적으로 늘려 해의 개선이 되도록 하고 해의 개선이 이루어지면 운행거리에 가중치를 부여하지 않아 최초의 목적함수식으로 복귀하도록 하였다.

기존 연구와 차이점은 고정비와 운행거리만 고려하는 연구혹은 변동비 또는 두 가지 경우를 각각 따로 목적함수식을 수립하여 비교한 경우와는 다르게 고정비와 변동비를 동시에 고려하여 목적함수식을 수립하였다.

Ⅲ. 유전자 알고리즘의 구성

1. 모형구축을 위한 가정사항

본 절은 모형 구성을 위한 가정 사항을 설명하고 수리 모형을 구축하였다.

(1) 모형의 개요 및 가정

본 연구에서 구성하고자 하는 차량경로문제의 모형은 전체 수요지점상에 N개의 수요지가 있고 이 수요지점들의 수요량을 충족시킬 수 있는 충분한 차량적재용량과 차량대수를 보유하고 있다는 가정 하에 모든 수요지의 수요량을 충족시킬 수 있는 유일한 공급지인 단일창고를 중심으로 모형을 구축하였다.

각 수요지점의 수요량과 위치는 알려져 있으며 차량이 방문하는 수요지점 수요량의 합은 차량의 용량을 초과할 수 없다. 이때 모든 수요지점은 한대의 차량에 의해서 한번만 방문되고 운행되는 차량의 총 운행비용은 차량의 고정비와 운행 거리에 따른 변동비의 합이 최소가 되도록 한다.

본 연구는 기존의 HVRP의 틀에서 벗어나지 않는 범위 내에서 변동비 적용에 대한 새로운 접근방식과 이에 따른 비용의 개념을 목적함수에 반영한 것으로 필요한 가정사항은 다음과 같다.

- 첫째, 차량의 출발 및 종착은 Depot에서만 이루어지고 단일 창고만 존재한다.
- 둘째, 차종별 운전자의 운전가능 여부는 동종 차종으로 제한한다.
- 셋째, 차량운행에 따른 총 운행비용은 고정비와 변동비의 합으로 계산하고 고정비는 운전자 임금, 변동비는 차종별 차량 연비로 한정한다.
- 넷째, 각 차량경로에 포함된 수요지점 수요량의 합은 최대 적재용량을 초과할 수 없다.
- 다섯째, 차량의 적재용량은 종류별로 다르며 제한된 차량을 보유하지만 총 수요량보다 충분히 많은 차량을 보유한다.

(2) 용어정의 및 모형구성

본 절은 앞에서 정의한 모형과 가정사항을 수리적인 모형으로 구성하기 위해 필요한 변수들을 정의하고 모형을 수립한 후 제약식에 대하여 설명한다.

1) 용어정의

n : 수요지 수($n = 1, \dots, N$)

i, j : 수요지($i, j = 1, \dots, n; i, j = 0$: 공급지)

D_i : 수요지점 i 의 수요량

Y_{ij} : 지점 i 에서 j 로의 운송량

Q_k : 차량 k 의 적재용량

f_k : 차량 k 의 고정비

g_k : 차량 k 의 변동비

d_{ij} : 수요지 i 와 j 간 이동거리

α : 운행비용 변동가중치

β : 운행거리 변동가중치

결정변수로는 다음을 사용한다.

$$x_{ijk} \begin{cases} 1, & \text{수요지점 } i \text{에서 } j \text{까지 } k \text{번째 차량이 운행되면} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

$$y_{ij} \begin{cases} 1, & \text{수요지점 } i \text{에서 } j \text{까지 운송량이 있으면} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

2) 모형구성

$$\text{Min } \alpha \left[\left\{ \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (d_{ij} g_k) X_{ijk} \right\} + \left\{ \sum_{k=1}^K f_k \sum_{j=1}^N X_{0jk} \right\} \right] + \beta \left\{ \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} X_{ijk} \right\} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^N X_{ijk} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=0}^N X_{ijk} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^N X_{abk} - \sum_{l=0}^N X_{bck} = 0 \quad a = 0, 1, 2, \dots, N \quad b = 0, 1, 2, \dots, N \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^N Y_{ij} - \sum_{l=0}^N Y_{jl} = q_j \quad j = 1, \dots, N \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N Y_{i0} = 0 \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^N Y_{0j} = \sum_{i=1}^N q_i \quad (7)$$

$$Y_{ij} \leq \sum_{k=1}^K X_{ijk} Q_k \quad i \neq j = 0, 1, \dots, N \quad (8)$$

$$\begin{aligned} X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad Y_{ij} \geq 0, Y_{ii} = 0 \\ i = 0, \dots, N \quad j = 0, \dots, N \quad k = 1, \dots, K \end{aligned} \quad (9)$$

N 은 지점수(고객수), “0”은 출발지(Depot), k 는 차량의 종류, d_{ij} 는 두 지점간의 거리, f_k 는 차량 k 의 고정비, Q_k 는 차량 k 의 용량, q_i 는 지점 i 의 수요량(배달량)을 각각 의미한다. 결정변수 X_{ijk} 는 차량타입 k 로 지점 i, j 를 이동했을때는 1, 그렇지 않다면 0을 나타내며, 결정변수 Y_{ij} 는 지점 i 에서 j 로의 운송량이 있으면 1, 그렇지 않으면 0을 나타낸다. 식(1)은 목적함수를 의미하는데 앞부분은 차량의 운행비용을 나타내며 뒷부분은 차량의 운행거리를 나타낸다. 식(2)와 식(3)은 각 수요지에는 한 대의 차량만이 방문할 수 있다는 일회방문의 제약을 의미한다. 식(4)은 차량이 임의의 수요지점에 도착하면 화물의 하역을 마친 후에 반드시 다른 수요지점이나 단일창고로 출발해야 한다는 차량흐름의 연속성을 나타내는 제약이다. 식(5)은 각 고객에 고객이 요구한 배달량 만큼만 배달한다는 것을 의미하고 식(6)은 출발지(Depot)에는 반드시 빈차로 귀환함을 의미하며 식(7)은 출발지에서 싣고 떠나는 총 배달량은 고객들의 총 수요량과 일치함을 뜻한다. 식(8)은 두 지점사이에 이동되는 운송량은

그 경로에 사용되어지는 차량의 최대용량을 초과할 수 없다는 것을 의미한다. 본 모형에서는 제약조건에 차량의 용량만을 고려하였으며 차량의 총 가용시간이나 총 가용거리등은 고려하지 않았다.

2. HVRP를 위한 유전자 알고리즘 제시

본 절에서는 단계별 세부 절차를 설명하고 본 연구의 방법과 특징에 대해서 설명한다.

(1) 유전자 표현

본 연구는 다용량 차량 경로문제로서 1회의 방문만을 고려하여 유전자 표현을 하나의 해가 2개의 string으로 이루어진 이중구조로 설정하였다.

〈표 3-1〉 유전자 표현

Customer	1	2	3	4	5	6
Priority	3	5	1	6	2	4
Car Number	2	1	3	3	2	1

〈표 3-1〉에서 Customer는 수요지점의 번호를 나타내지만 불필요한 부분으로 실제 구성은 하지 않는다. Priority는 각 수요지의 방문 우선순위를 표현하는 하였고 Car Number는 각 수요지의 방문차량을 나타내는 것으로 유전자에서 표현된 개체는 차량번호를 의미한다.

(2) 초기 모집단

발견적 기법에 의해 생성된 해들은 조기 수렴하여 좋은 초기해가 우수한 최종해 산출을 탐색을 방해하는 경향이 있기 때문에 임의 생성기법을 사용하였다. 하지만 임의 생성 기법에는 실행 불가능해가 다수 포함되어 효과적인 해의 탐색이 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 임의 생성 기법의 장점인 다양한 해공간을 탐색하되 실행 불가능해를 감소시켜 해를 탐색하도록 유도하였다.

(3) 초기해 개선

임의 생성된 초기 해를 바탕으로 각 차량에 대한 수요지로의 배달량을 만족하도록 초기 해를 개선하여 실행 불가능해를 제거하였으며 차량을 할당 한 후 차량 교환을 실시하여 초

기해가 우수한 해를 갖게 하였다.

〈표 3-2〉 초기해 개선과정

단 계	내 용
1단계	•임의 생성된 초기 해를 바탕으로 각 차량의 경로를 구함.
2단계	•1번 차량부터 수요지 방문순서대로 배달량을 계산 •차량의 적재 용량과 비교하여 적재용량보다 작으면 1번 차량의 경로조정을 종료 그렇지 않으면 해당 수요지의 배달량을 적재 할 수 있는 차량을 찾아 할당한다.
3단계	•위 단계에서 실행 불가능해를 가능해로 개선시킨 후 할당된 차량을 교환. ex) 1번 수요지의 방문 차량과 2번 수요지의 방문차량을 교환해 준다. 만약 같은 차량이 방문한다면 교환하지 않고 다음 수요지와 비교하여 다른 차량이 방문하는 수요지를 찾아 교환한다.
4단계	•수요지 방문 차량의 교환 후 배달량을 확인하고 차량의 용량과 비교하여 실행 가능하면 다음 단계로 넘어간다. •만약 차량의 용량을 초과하면 다시 3단계로 이동.
5단계	•구해진 해를 바탕으로 각 차량의 운행비용의 총합을 구하여 경로 조정 전의 운행 비용과 비교하여 운행비용이 개선되면 초기해로 사용 •운행비용이 증가하면 경로 조정전의 해를 초기해로 사용한다.

(4) 적합도 평가

본 연구의 목적함수인 총 운행비용 최소화를 위해 적합도는 총 운행비용의 합의 역수로 구하였으며 그 식은 다음과 같다.

$$fitness = \frac{1}{\alpha \sum Total Cost + \beta \sum Total Distance} \quad (식1)$$

위 (식1)에 분모는 각 차량 경로의 운행비용의 합과 총 운행거리의 합의 역수를 취함으로써 운행비용과 운행거리의 합이 적을수록 높은 적합도 값이 나타나게 된다. 하지만 위식에서 비용가중치 α 와 거리 가중치 β 의 값을 해의 개선을 위한 세대수 진행에 대해 가중치 비율을 달리 적용하여 목적식을 수립하였고 개의 개선이 이루어지지 않는 세대수에 따라 가중치 비율은 아래의 <표 3-3>와 같다.

〈표 3-3〉 변동 가중치율

해의 개선이 이루어지지 않는 세대수	비용가중치 α	거리가중치 β
1~50	1	0
50~	0.75	0.25
150~	0.5	0.5
300~	0.25	0.75
450~	0	1

해의 개선 초반에 초기해의 높은 적합도 값으로 이후 해의 개선이 이루어지지 않을 경우 이를 탈출하기 위하여 운행거리 목적식의 비중을 높임으로써 전체 운행비용이 높더라도 지역해 탈출을 돕고 해의 개선이 이루어지면 곧바로 처음 목적식의 가중치로 복귀하는 변동가중치법을 목적식에 적용하였다.

(5) 선별(selection) 및 재생산(reproduction)

본 연구는 선별의 여러 가지 방법중 룰렛휠 방법을 채택하였으며 이 선택에 기초한 방법은 크게 준비단계와 동작단계로 구분된다.

<준비단계>

단계 1 : 개체들의 적합도의 합을 계산한다.

$$fitness_{sum} = \sum_{i=1}^N f_i(k)$$

단 $f_i(k)$ 는 i 번째 개체(popsize)의 적합도이다.

단계 2 : 각 개체의 선택확률(selection probability)을 계산한다.

$$P_i(k) = \frac{f_i(k)}{fitness_{sum}} \quad (1 \leq i \leq N) \text{ 단 } N \text{은 개체의수}$$

단계 3 : 선택확률의 백분율에 따라 룰렛휠의 스톱면적을 할당한다.

<동작단계>

단계 1 : 룰렛휠을 수행하여 개체 하나를 선택한다.

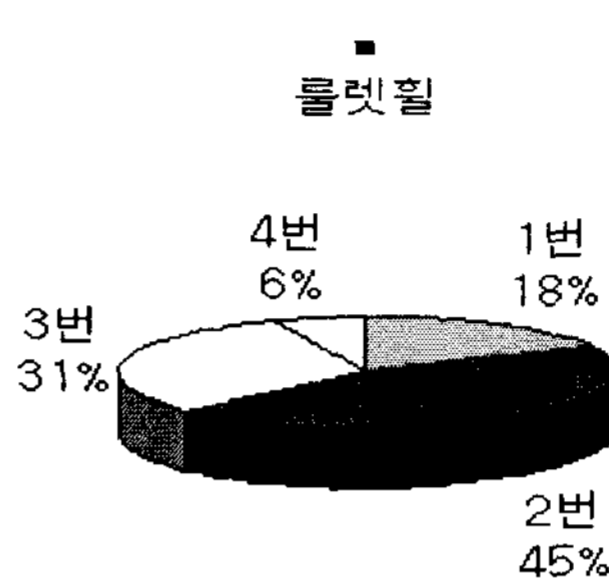
단계 2 : 선택된 개체를 교배급원(저장장소)에 복제한다.

동작단계는 교배급원에 복제된 개체수가 집단크기와 일치될 때까지 반복된다.

재생산 연산이 수행된 구체적인 결과는 <표 3-4>에서 나타난다. 스롯 면적이 가장 넓은 2번 염색체는 2번 선택되었고, 1번과 3번 염색체는 각각 1번씩 선택되었다. 예견할 수 있듯이 4번 염색체는 확률적으로 선택되지 못하고 소멸되었다.

<표 3-4> 룰렛휠 계산 결과

i	염색체	적합도	선택 확률
1	21463355	9.8	18.0
2	65234153	24.5	45.0
3	52316243	16.9	31.0
4	23234261	3.2	6.0
합 계		54.4	100.0



i	염색체
1	65234153
2	52316243
3	65234153
4	21463355

(6) 엘리트 보존전략(elitist strategy)

엘리트 전략(elitist strategy)은 집단 내에서 가장 강한 개체가 다음세대로 변경되지 않고 전달되는 것을 보장하기 위한 것이며 만약 이전 세대의 최적 개체를 저장하고 있다가 일련의 모의진화가 수행된 후 현 세대에서 좀더 나은 개체가 발생되면 최적개체를 교환하게 된다.

(7) 교차(crossover)

자연계의 생물들은 그들의 유전자를 서로 섞는 유성생식(sexual mating)을 통하여 자손을 생산하게 되고, 이런 성적 재생산을 알고리즘 형태로 흉내낸 것이 인위계에서의 교차이다. 교차는 탐색공간상의 가능한 새로운 점을 찾기 위하여 부모(parent) 염색체 쌍을 임의로 선택하고, 교차점 이후의 비트들을 서로 교환 결합함으로써 자손(offspring)을 생성한다.

순서교차는 수요지점의 중복 없이 항상 실행가능해를 유지시켜주며 부모해들의 상대적인 순서를 보존하여 주는 성질을 가지고 있으므로 차량의 방문순서는 순서교차를 실시하였고, 각 수요지에 할당된 차량은 이점교차를 실시하였다.

(8) 돌연변이(mutation)

돌연변이 연산자는 개체의 각 유전자에 대하여 일정한 돌연변이 확률을 적용하여 대립유전자의 값으로 바꾸는 것이다, 이러한 변화를 이용함으로써 새로운 개체를 생성하는 국소적인 임의 탐색의 일종이다. 또한 집단에서 잃어버린 유전형질을 복구하여 다양성을 유지하기

위한 수단으로도 사용된다.

차량방문 순서는 순열표현으로 돌연변이에 의해 중복되는 유전자가 발생하면 실행불가능해가 된다. 그러므로 돌연변이를 통해 중복되는 유전자가 발생하지 않도록 교환을 적용하였고, 수요지 방문차량의 경우는 각 수요지에 차량을 할당하는 개념이므로 같은 차량이 할당되어도 무방하여 점 돌연변이를 사용하였다.

(9) 변동 돌연변이

일반적인 유전자 알고리즘은 복수해의 운용을 통해 전역 탐색 능력은 뛰어나나지만 SA (simulated Annealing)에 비해 지역해(local optimal solution)에 도달하였을 경우 이를 벗어나기 위해서는 상대적으로 아주 작은 돌연변이 돌연변이율에 의존 할 수밖에 없다. 이러한 유전자 알고리즘을 보완하기 위해 일정 세대수가 진행되어도 해의 개선이 없다면 단계적으로 돌연변이율을 상승시켜 지역해에서 벗어날 확률을 높여주었으며, 지역해에서 벗어난 후에는 최초로 적용된 돌연변이율로 재조정되었다.

(10) 유전 파라미터

유전자 알고리즘의 성능을 좌우하는데 몇 가지의 요인들을 고려해야 한다. 그것은 유전자 알고리즘이 확률과 모수에 의하여 다양한 결과를 발생시키기 때문이다. 여러 파라미터를 적용한 반복 실험을 통해 알고리즘과 문제의 특성에 맞는 파라미터를 본 연구에 적용하였다.

〈표 3-5〉 본 연구에 적용된 유전 파라미터

구분	모집단수 (popsize)	교차율 (Pc)	돌연변이율 (Pm)	종료세대수	변동가중치
적용값	10	0.8	0.02	1000 ~ 3000	0 ~ 1
비 고	.	.	변동돌연변이 0.02 ~ 0.5	문제크기에 따라 조절	.

IV. 예제 적용 및 결과분석

본 장에서는 기존 연구 데이터와 같은 문제를 유전 알고리즘을 이용하여 나온 결과 값과 비교하고 기존연구와의 차이점을 분석하여 알고리즘의 효율성을 입증하고자 한다.

1. 기존예제와 비교

(1) 문제구성

본 연구에서는 변동비를 동일하게 적용하여 운행거리와 고정비의 합을 최소화시킨 Taillard의 3번 예제를 사례 1로 이점만 예제를 사례 2로 선정하여 본 연구와 비교/분석을 하였고 알고리즘은 Visual C++언어로 구현, 실험은 CPU 1.8GHz, RAM 256MB PC환경 하에서 수행하였다.

1) 실험예제

〈표 4-1〉 실험예제의 변동비 및 고정비 적용값

차종(용량)	A(20)	B(30)	C(40)	D(70)	E(120)
고정비 (fcost)	20	35	50	120	225
변동비 (gcost)	1.0	1.3	1.9	2.4	2.9

본 실험예제에 적용된 변동비, 고정비와 수요지 정보는 위와 같다.

화물운송회사 보유대수는 차량종류별 2대씩 총 10대로 모든 수요지의 수요량보다 충분히 많은 차량을 보유한다고 가정하였고 수요지의 수는 20개로 선정하였다.

2) 실험결과 및 분석

실험예제에 본 연구에서 제시하는 변동비를 적용하여 나온 결과 각 문제별 최종해의 차량 경로는 다음과 같다.

〈표 4-2〉 실험결과(최종해) 비교

구 분	차량종류	차량경로	적재량	운행거리 (Ddist)
사례 1	A	D-7-D	19	52.84
	B	D-8-1-D	30	47.58
	B	D-12-D	29	16.12
	C	D-5-11-D	40	37.36
	E	D-18-4-19-13-14-6-D	118	91.65
	E	D-3-20-2-16-9-10-15-17-D	118	125.47

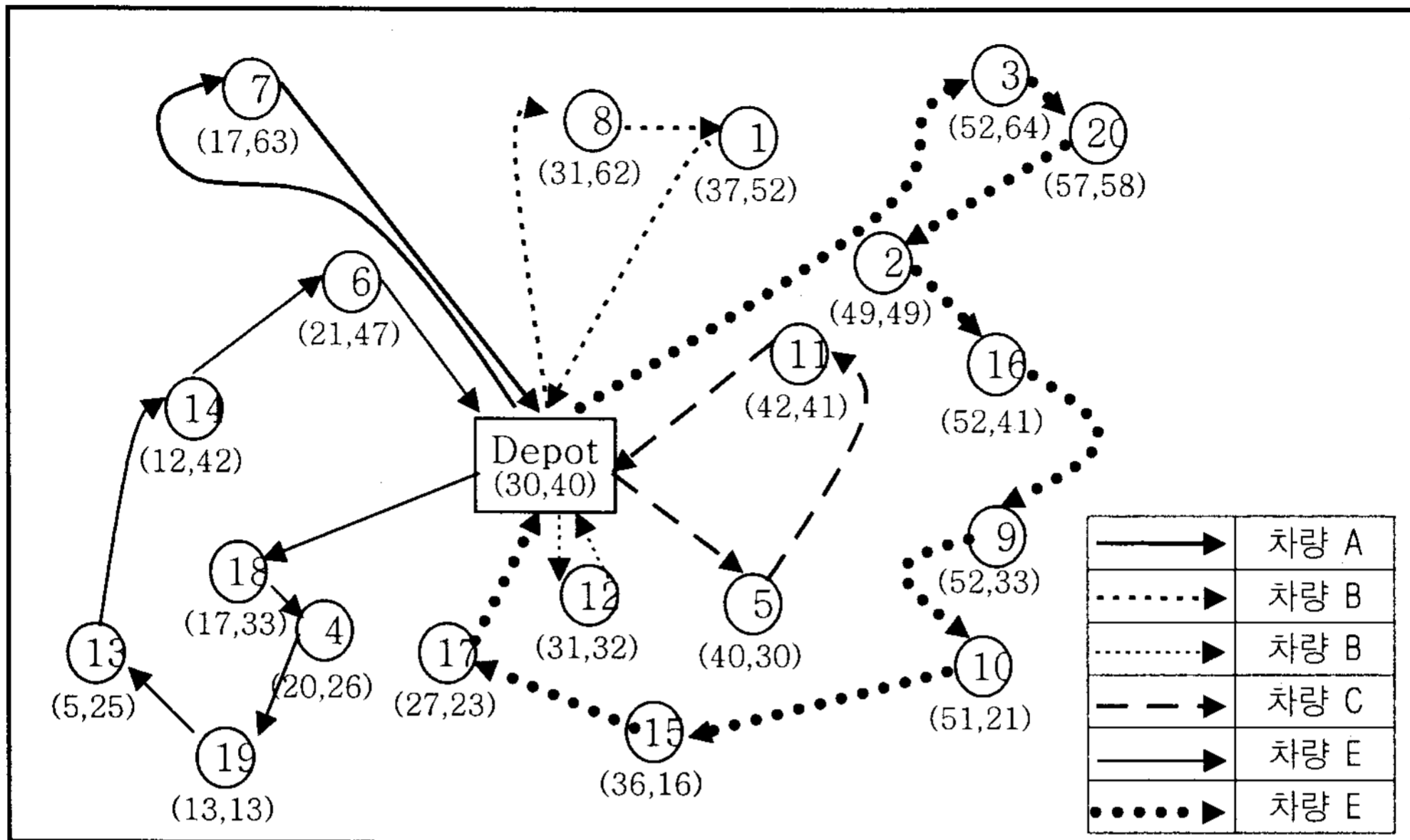
구분	차량종류	차량경로			적재량	운행거리 (Ddist)
		고정비	운행거리	소요시간(초)		
	고정비	590	371.02		운행비용 (변동비 고려시)	961.02 (1426.29)
	변동비	836.29	164			
사례 2	E	D-11-16-2-20-3-1-D			115	83.54
	E	D-8-7-6-14-18-D			119	87.90
	E	D-12-4-13-19-17-15-5-10-9-D			120	138.22
	고정비	675	309.66		운행비용 (변동비 고려시)	984.66 (1573.01)
	변동비	898.01	0.42			
본 연구 [2006]	A	D-15-17-D			13	53.4
	B	D-12-D			29	16.2
	C	D-9-10-5-D			37	63.7
	D	D-1-8-7-6-D			64	67.5
	E	D-3-20-2-16-11-D			108	82.9
	E	D-14-18-13-4-19-D			103	104.5
	고정비	675	388.03		운행비용 (변동비 고려시)	1063.03 (1318.03)
	변동비	643.03	2652			

※ D:Depot

① 경로

<그림 4-1~3>은 사례 1 및 사례 2와 본 연구의 최종해 차량경로를 구성한 그림이다.

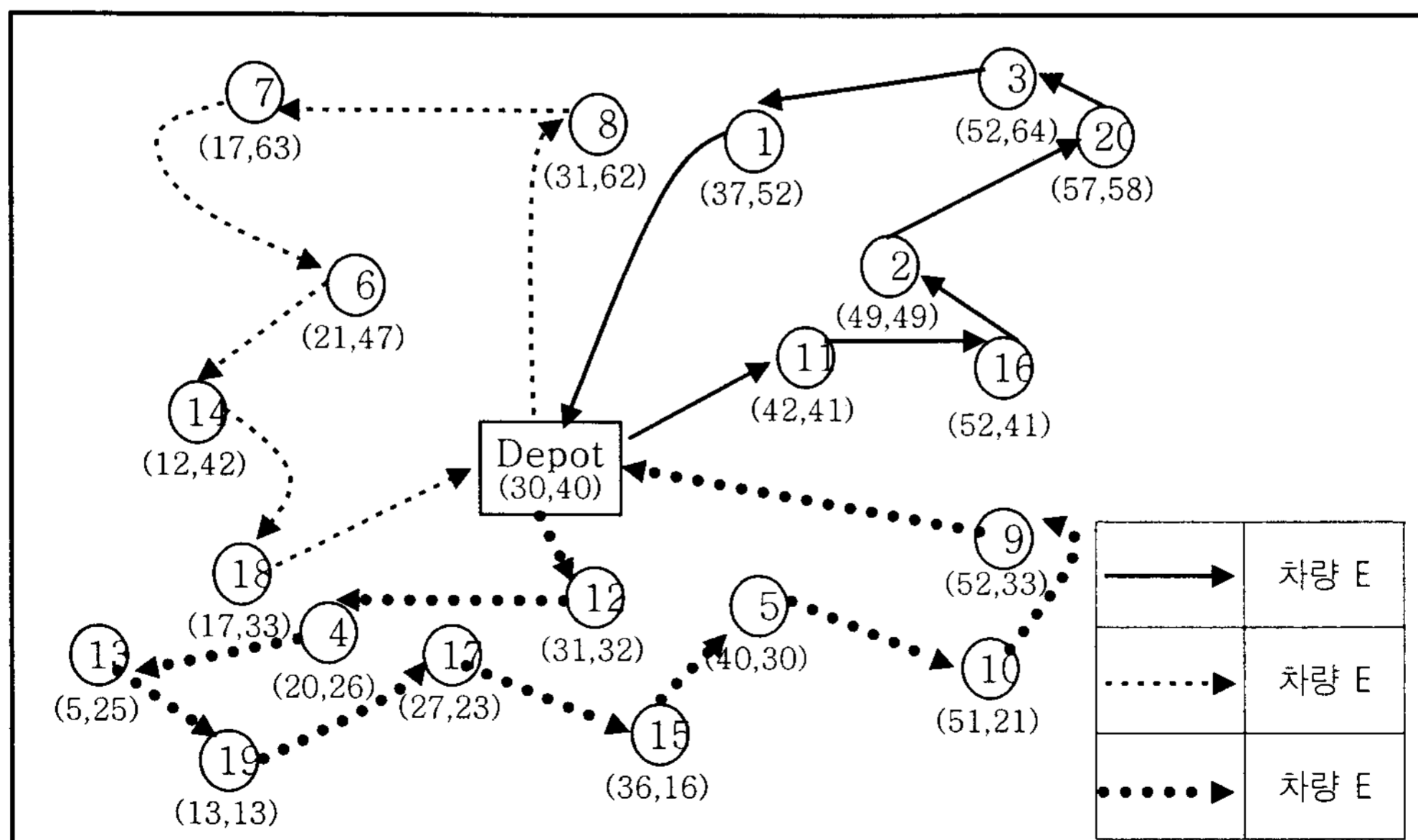
사례 1의 최종해 차량구성에서 확연히 알 수 있듯이 용량이 큰 차량 E 2대가 전체 20개의 수요지중 14개 수요지의 수요량을 충족시키며 차량 경로가 구성되었으며 용량이 작은 차량은 비교적 Depot에서 근접해 있는 수요지 1~2곳을 차량 용량에 맞게 경로가 구성되었다. 차량 D는 경로 구성에 포함되지 않았으며 차량 용량이 큰 차량 E 2개가 대부분의 수요지를 충족시키면서 경로가 구성되어 변동비 측면에서는 좀 더 나은 경로 구성이 필요한 모습을 보이고 있다.



〈그림 4-1〉 사례 1의 차량 경로 구성

다음 <그림 4-2>은 사례 2의 최종 차량 경로 구성이다.

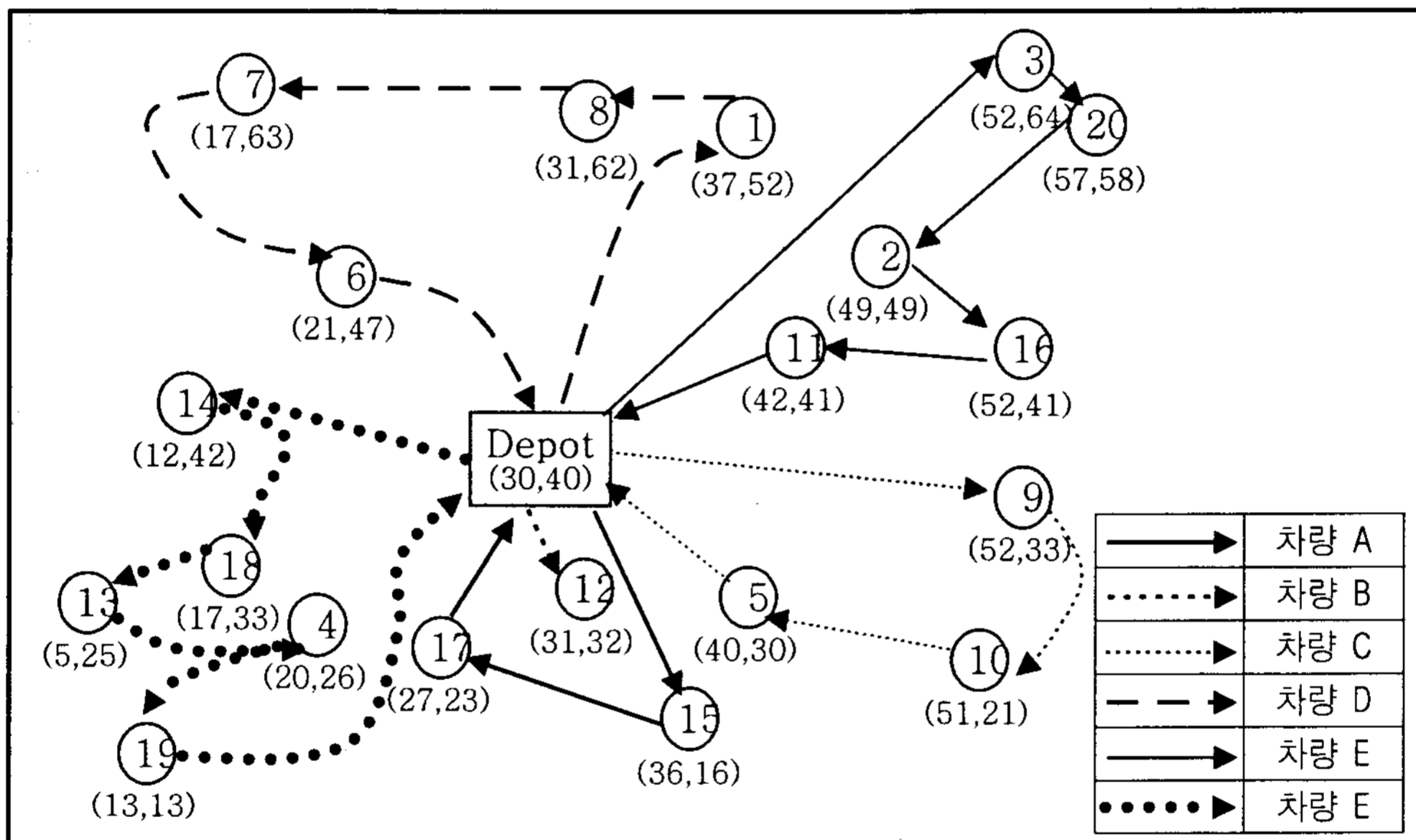
사례 2는 차량 용량이 제일 큰 차량 E 3대로 차량 경로 구성을 하여 운행거리 측면에서는 비교적 좋은 해가 산출되었지만 고정비와 변동비면에서는 차량 용량이 큰 차량으로만 경로



〈그림 4-2〉 사례 2의 차량 경로 구성

가 구성됨에 따라 전체적인 운행비용은 늘어날 수밖에 없는 결과를 나타내었다. 최종 결과 값에서 알 수 있듯이 운행거리가 309.66으로 세 연구 중에 가장 좋은 해를 갖지만 이는 차량 용량이 큰 차량으로만 구성이 되었기 때문이며 운행 차량 편성이 특정 차량으로만 집중 되면 현실적인 차원에서 사고예방을 위한 차량의 계획정비와 해당 차량을 운행하는 운전 기사의 업무 피로도를 고려하면 적절한 차량조합이 아니다.

다음 <그림 4-3>은 본 연구의 최종해의 차량 경로 구성이며 변동비를 고려하여 차량 선정틀 하므로 차량 조합에 용량이 큰 차량과 작은 차량이 적절히 편성될 수 있으며 운행거리와 비용의 관계에서 차량 종류별 연비 등 변동비를 운행거리와 차량 대수를 고려하여 계산하면 기존의 고정비만을 고려한 연구결과와 다른 차량 경로를 구성하게 된다.



<그림 4-3> 본 연구의 차량 경로 구성

본 연구의 차량 경로 구성은 사례 1과 사례 2보다 차량 용량이 큰 차량과 작은 차량이 각각 골고루 수요지를 분담하고 있으며 차량 용량이 크다고 하여 운행거리가 크게 늘어나지 않는다는 것을 알 수 있다.

② 운행거리

본 연구는 운행비용의 최소화가 목적이므로 운행거리 측면에서 고려할 사항은 각 운행차량의 운행거리가 특정차량에 집중되어 차량 운행을 하는 차량을 최대한 줄이고자 하는 것이다. 본 연구가 다른 연구보다 각 차량별 운행거리가 고루 분포되어 있으며 특히 사례 1의 B,

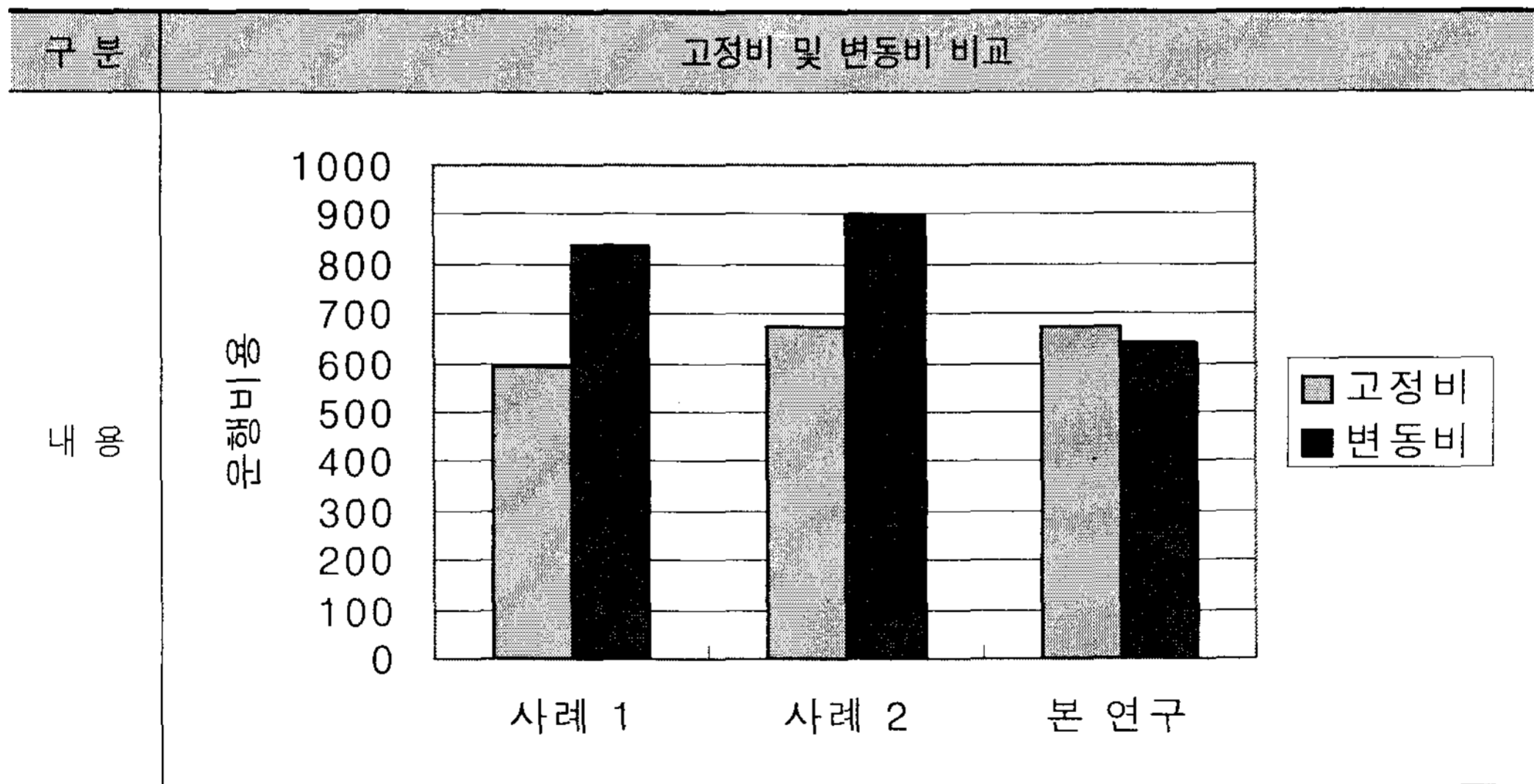
C, E 차량과 본 연구의 C, D, E 차량의 각 차량별 운행거리가 현격히 차이가 나고 사례 1의 차량 E가 총 운행거리의 73%를 차지하고 있는 반면에 본 연구의 차량 E는 48%를 차지하고 있다. 차량별 운행거리의 표준편차도 본 연구가 가장 작고 화물 운송회사의 입장에서 현실조건과 맞아 특정 차량에 운행이 집중되지 않고 차량 운행비용을 최소로 줄일 수 있는 최적의 차량조합에 가까운 결과 값을 나타내고 있다.

③ 고정비, 변동비

본 연구의 결과는 운행거리에 고정비만을 더한 기존 연구 방식으로는 운행비용 값이 더 늘어나지만 변동비를 적용한 운행비용 측면에서는 사례 1의 연구와는 108.26의 비용을 줄일 수 있었고 사례 2의 연구와는 254.98의 비용을 줄일 수 있는 해를 산출하였다.

다음<표 4-3>은 연구별 고정비와 변동비를 나타내는 표이며, 고정비는 차량의 선정에 따라 결정되지만 변동비의 경우는 차량의 종류뿐만 아니라 차량의 운행비용도 함께 고려해야 한다.

<표 4-3> 연구 결과(고정비 및 변동비)



<표 4-3>에서 고정비는 사례 2와 같은 값으로 675를 나타내지만 변동비의 경우에는 두 연구보다 월등히 작은 것을 알 수 있을 것이다. 이는 본 연구가 고정비의 값이 다른 연구보다 높더라도 변동비를 줄이는 차량조합과 경로구성을 실시하여 전체적인 운행비용을 줄일 수 있는 알고리즘을 구축하였음을 증명한다.

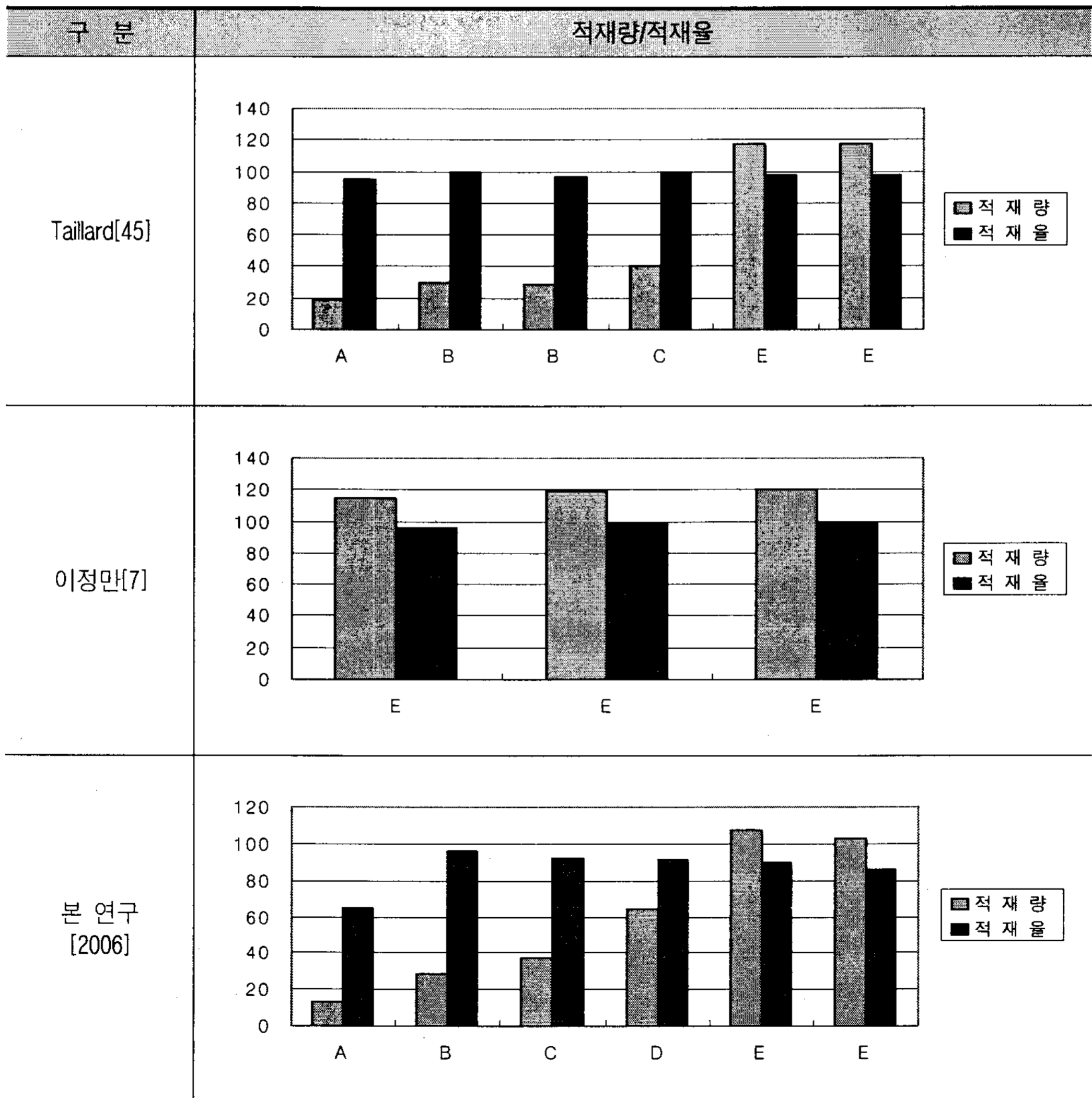
④ 차량적재율

다음 <표 4-4>는 각 연구별 전체 차량 적재율을 표시하고 있다.

<표 4-4> 전체 차량 적재율

구분	사례 1	사례 2	본 연구
전체 적재율(%)	98	98.3	86.8

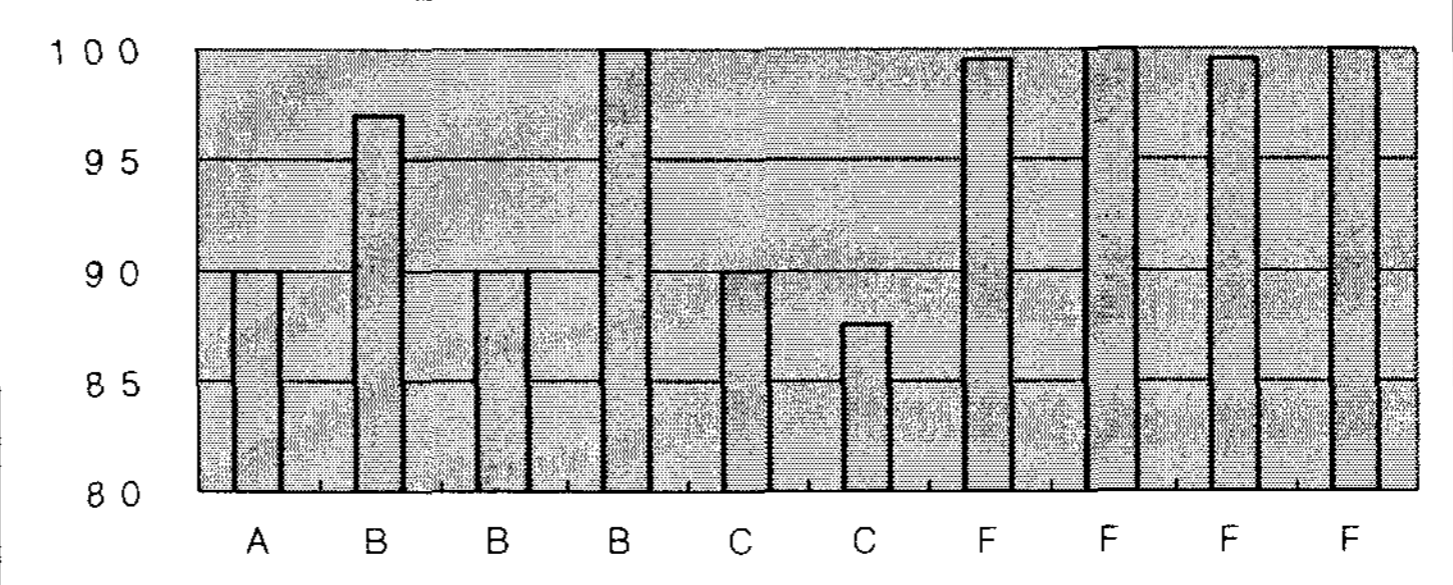
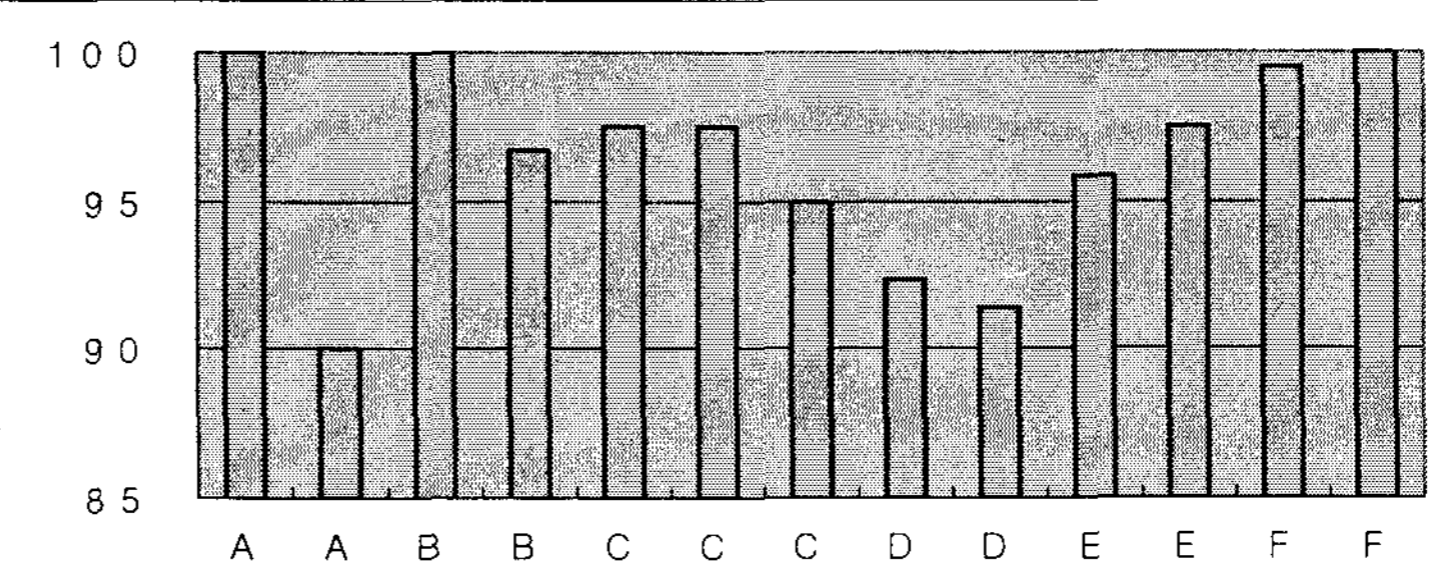
<표 4-5> 각 차량별 적재량/적재율



위 <표 4-4>에서 알 수 있듯이 본 연구의 전체 차량 적재율이 가장 낮은 수치를 보이고 있으며 이는 차량 A의 적재율이 65%로 낮아 전체적인 적재율이 감소되었지만 다른 차량의 경우에는 대부분이 90~96%의 좋은 적재율을 보여주고 있다는 것을 <표 4-5>에서 알 수 있다.

위에서 본 연구의 A차량과 같이 적재율이 낮은 차량이 나오는 이유가 알고리즘상의 문제가 있다고 볼 수는 없다. 그 이유는 수요지 20개의 제한된 수요지와 제한된 차량을 가지고 알고리즘을 수행하였기 때문이며 수요지 수와 차량 대수를 늘이면 전체적인 차량 적재율은 본 연구의 적재율보다 높을 것이다. 다음 <표 4-6>은 이를 증명하기 위하여 수요지 50개의 Taillard 13번 예제의 데이터를 이용하여 나온 적재율을 본 연구의 알고리즘을 이용하여 나온 차량 적재율과 비교한 것이다.

<표 4-6> 수요지 50개 예제의 차량 적재율 비교

구 분	적 재 율
Taillard[45] 13번 예제	
본 연구	

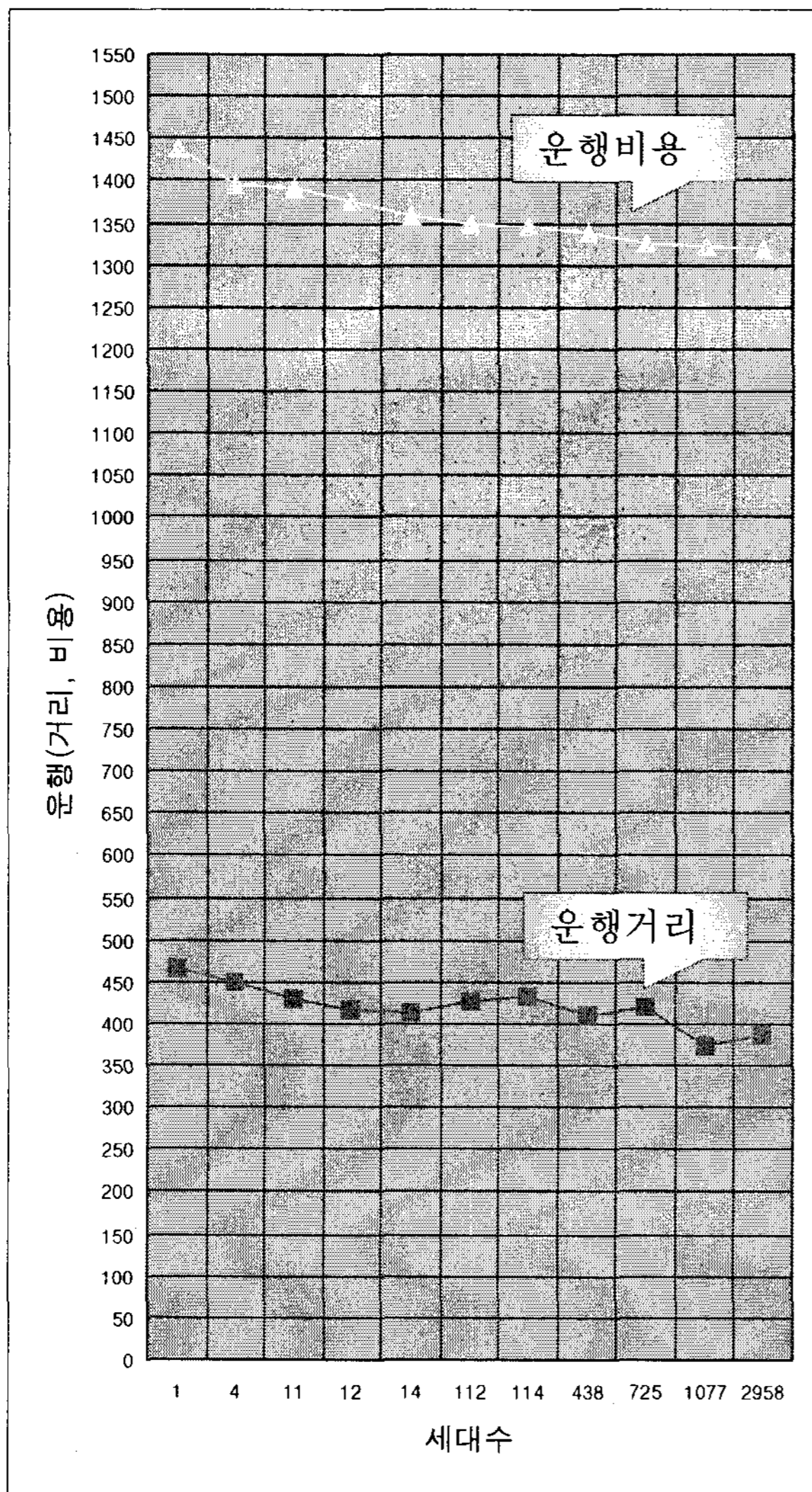
3) 최종 알고리즘 결과 분석

<그림 4-4>는 운행(거리, 비용) 결과이며 운행비용은 이 그림에서 알 수 있듯이 초기 100세대까지 급격히 운행비용 값이 줄어들고 이 후 점차 해의 개선을 이루는 모습을 보이고 있다. 이는 초기해 모집단의 해의 개선과정이 차량용량의 제한 및 차량교환을 통하여 잘 이루어지고 있는 것을 나타내며 100세대 이후로 지역 해의 탈출을 돕기 위하여 변동가중치 및

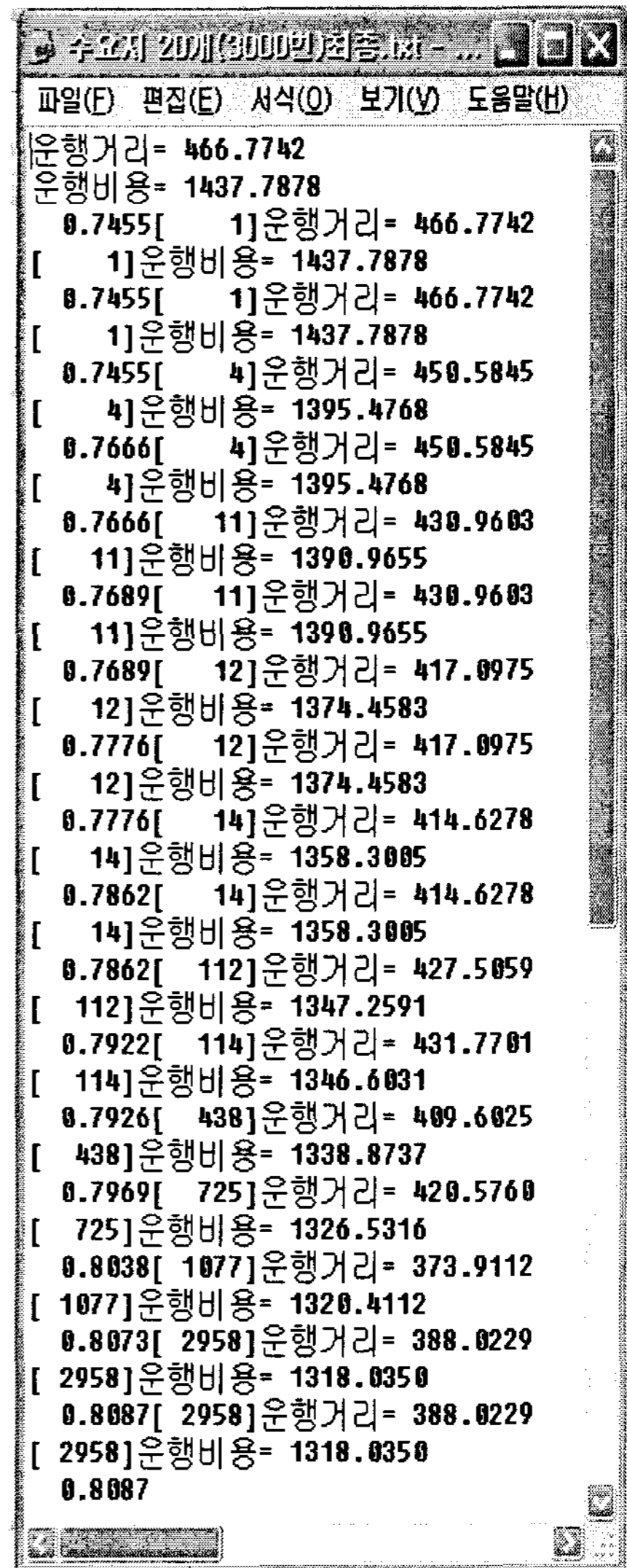
변동돌연변이에 의해 지역 해를 탈출하여 해의 개선을 이루었다.

<그림 4-5>은 전체적으로 알고리즘이 운행거리를 감소시키면서 진행되었지만 해의개선과정에서 운행비용을 낮추기 위하여 다소 운행거리가 늘어나는 모습을 보이는데 이는 차량의 조합이 용량이 낮은 차량으로 대체 되면서 나타나며 이후 차량경로를 새롭게 구성하여 운행 거리를 낮춤과 동시에 운행비용까지 줄일 수 있도록 하였다.

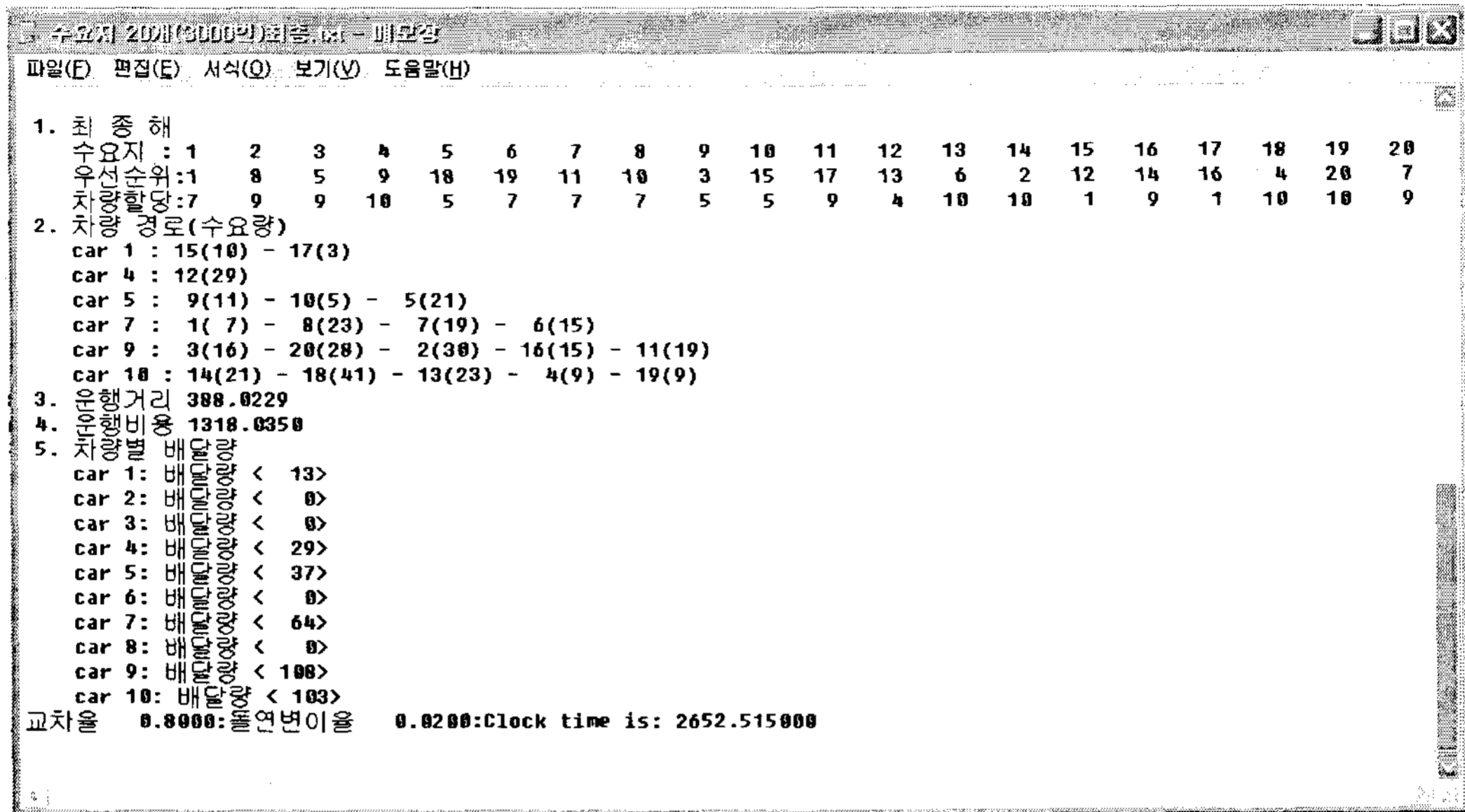
<그림 4-6>은 본 연구의 알고리즘 실행 결과이며 다음 <그림 4-8>은 최종 연산결과이며 10대의 차량 중 2, 3, 6, 8번 차량이 배달량이 없어 경로 구성에서 삭제 되었다.



<그림 4-4> 운행(거리, 비용) 결과



<그림 4-5> 알고리즘 실행 결과



〈그림 4-6〉 최종 연산결과

위의 최종 연산결과에서 총 10대의 차량 중 6대의 차량이 최종 차량 조합에 선정되었다. 실험결과 본 연구가 기존의 다른 연구보다 변동비 측면과 차량 조합에 있어 좀더 발전적인 모습을 보였으나 다만 연산 소요시간이 다른 연구에 비해 많이 소요되는데 유전 알고리즘 특성상 다수의 모집단을 대상으로 선별과정을 거치므로 다소 기존 연구보다 연산 시간은 늘어나는 결과를 나타내었다. 이는 차후 알고리즘 측면에서 보완하여 발전시킬 사항으로 여겨진다.

V. 결론 및 향후 연구방향

1. 결론

지금까지의 대부분의 HVRP문제는 차량종류별 고정비에 운행거리를 더하여 계산하였다. 따라서 차량종류별 고정비 값이 정해져 있으므로 운행거리를 줄이는 알고리즘을 구축해야만 했고 이는 운행비용에 변동비 요소를 고려하다보면 위의 경로 구성과는 다른 차량 경로가 형성되며 차량의 종류도 용량이 큰 차량과 작은 차량이 적절히 편성되어 전체적인 운행비용을 최소화시킬 수 있는 차량조합을 이끌어 낼 수 있었다.

본 연구는 운행거리 측면에서 기존 연구보다 다소 거리가 늘어날 수 있지만 차량별 운행

거리 및 운행시간에 제한이 없는 것을 가정하여 문제를 구성하였다. 하지만 기존 연구보다 운행거리(시간)가 크게 늘어나지 않았으며 이는 알고리즘 구축 시 운행거리에 따른 변동비 요소가 작용하였기 때문이며 이와같이 고정비와 변동비의 상호작용에 따라 문제에서 요구하는 운행거리 및 운행비용 결과치를 산출해 낼 수가 있었다.

본 연구는 효율적인 해의 탐색을 위해 초기해 개선을 위한 알고리즘을 구축하여 초기해에 우수한 해가 포함 될 수 있었고 초기에 해의 개선속도도 많이 향상되었다. 또한 변동돌연변이와 목적식에 변동가중치를 적용하여 지역해 탈출을 하였으며 변동가중치의 경우는 해의 개선이 이루어 지지 않는 세대수에 따라 목적식을 순간적으로 2기준 목적식으로 전환하여 운행거리 측면에서도 만족할 수 있는 결과치를 산출해 낼 수 있었다.

결과적으로 본 연구가 HVRP 기존연구에 비해 다른점과 발전시킨 사항은 운행비용 요소에 변동비 요소를 동시에 고려하여 적절한 차량조합과 최적값에 가까운 운행비용을 산출해 낼 수 있었으며 기존 연구의 목적식과는 다르게 새로운 목적식을 정의하여 문제를 구성하였고 이에 대한 문제 해결의 효율성을 입증하였다.

2. 향후 연구방향

본 연구는 화물 운송회사를 대상으로 회사 경영자의 입장에서 최대한 차량 운행비용을 줄일 수 있는 경로와 차량 조합을 구성하여 회사 경영에 올바른 판단을 할 수 있도록 하는데 그 근거자료로 제시 할 수 있는 것이 본 연구의 궁극적인 목적이다. 하지만 고유가 시대와 인건비 상승에 따른 결과로 단지 화물 운송회사 뿐만 아니라 각종 공공기관과 택배회사, 각종 배달업체에도 이러한 비용 요소를 줄일 수 있는 연구가 진행되어야 된다고 생각된다. 각 업계별로 그 특징에 맞는 연구와 알고리즘을 구축하여 본 연구보다 세분화시킬 필요성이 있으며 본 연구에서 진행시키지 못한 차량 운행 거리(시간)제한을 제약식에 추가하여 문제를 진행하면 좀 더 현실적인 문제에 근접 할 수 있을 것이라 생각한다. 또한 배달과 수거가 동시에 이루어지는 VRPSDP와도 접목과 중복방문을 허용하여 운행비용 측면에서 상당히 비용을 줄일 수 있는 알고리즘을 구축할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 실험을 실시하면서 컴퓨터의 성능의 차이로 인해 연산시간의 직접적인 비교는 어렵겠지만 다른 연구에 비해 연산시간이 많아 차후로 알고리즘을 보완하여 연산시간을 단축시키고 본 연구의 수요지수를 늘려 보다 광범위한 지역의 차량 경로 구성을 할 수 있는 연구 개발이 향후 보완되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 국 문

- 김경훈, 이영훈, “고객의 배달량을 고려한 차량경로 문제의 발견적 기법”, *한국과학기술/대한산업공학회 춘계 공동 학술대회*, 2001
- 김경훈, 이영훈, “타부서치와 집합분할을 이용한 차량경로문제의 발견적 기법”, *대한산업공학회 추계학술대회*, 2001
- 김여근, 윤복식, 이상복, 「메타휴리스틱」, *영지문화사*, 2000
- 노인규, 하영훈, “전자 상거래 환경에서의 서비스 시간대에 따른 이중 차량 할당”, *대한산업공학회/한국경영과학회 춘계 공동 학술대회*, 2001
- 서상범, 한상용, “2003 국가물류비 산정 및 추이분석”, *한국교통연구원 2005 정책연구*, pp. 119-124, 2005
- 이윤희, 유전자 알고리즘을 이용한 시간제약 다용량 차량경로문제, *국방대학교 석사학위 연구*, 2004
- 이정만, “수요지 제한이 있는 복수차량 유형의 차량경로모형에 관한 연구”, *국방대학교 석사학위 연구*, 2004
- 진강규, 「유전알고리즘과 그 응용」, *교우사*, 2002
- 조한선, 심재익, “2004년 전국 교통혼잡비용 산출 및 추이분석”, *한국교통연구원 2006년 정책연구 KOTI 연구결과 요약집*, pp. 137-144, 2006
- 최은정, 이태한, 박성수, “복수 차량 유형에 대한 차량경로 문제의 정수 계획 해법”, *대한산업공학회/한국경영과학회 춘계 공동 학술대회*, 2002
- ST로지스, “운송비 산출기준”, *화물운송 원가항목 대분류*, 2006

2. 영 문

- Altinkmer, K. & Gavish. B., “Parallel Saving Based Heuristic for the Delivery Problem”, *Operation Research*, Vol.39, pp. 456-469, 1991
- Asvin Goel, Volker Gruhn, “Solving a Dynamic Real-Life Vehicle Routing Problem”, *Telematics and e-Business*, 2003
- Barbarosoglu, G. and Ozgur. D., “A tabu search algorithm for the vehicle routing problem”, *computer & operations research*, 1999

- Beasley, J. E., "A Lagrangians Heuristic for the Set Covering Problems", *Naval Research Logistics*, Vol. 37, pp. 151-164, 1990
- Christofides, N., Mingozzi, A., and Toth, P. "The vehicle routing problem", *Combinatorial Optimization, Sandi(Eds.), Wiley, Chichester*, pp. 315-338, 1979
- Clark, G., Wright, J., "Scheduling of vehicle from a Central Depot to a Number of Delivery Points", *Operations Research*, Vol.12, pp. 568-581, 1964
- Danzig, G.B., Ramser, J.H., "The Truck Dispatching Problem", *Management Science*, Vol.6, pp. 80-91, 1959
- Desrochers, M., Verhoog, J. W., "A new heuristic for the fleet size and mix vehicle routing problem", *Computers and Operations Research*, 1991
- Devern Burchett, Edward Campion, "Mix fleet vehicle routing problem- An application of Tabu search in the grocery delivery industry", *Management science Honours Project*, 2002
- Dondo, R., DEZ, C. A. M., CERD, J., "An Optimal Approach to the Multiple-Depot Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Time Window and Capacity constraints", *Latin American Applied Research*, pp. 129-134, 2003
- Dullaert, W., Janssens, G. K., Sorensen, K., Vernimmen, B., "New heuristic for the Fleet Size and mix Vehicle Routing Problem with Time Windows", *Journal of Operational research Society* 53, pp. 1232-1238, 2002
- Eunjeong Choi, Dong-Wan Tcha, "A column generation approach to the heterogeneous fleet vehicle routing problem", *computer & operation research*, 2005
- Fisher, M. L., Jaikumar, R., "A Generalized Assignment Heuristic for vehicle Routing", *Network*, Vol.11, pp. 109-124, 1981
- Fisher, M. L. "Optimal Solution of Vehicle Routing Problems using Minimum KTrees", *Operation Research*, Vol.42, pp. 626-642, 1994
- Gendreau, M. et al. "A Tabu Search Heuristic for the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem", *Computer & Operation Research*, Vol.26, pp. 1153-1173. 1999
- Gheysens F. G., B., Golden B. L., Assad A., "A comparison of techniques for solving the fleet size and mix vehicle routing problem", *Operation Research Spektrum* 6, pp. 207-216, 1984
- Gillet, B. and Miller, L., "A Heuristic Algorithm for the vehicle Dispatching Problem", *Operation Research*, Vol.22, pp. 340-349, 1974
- Glover, F., "Tabu search and Adaptive Memory Problem programming : Advances,

- Applications and Challenges”, *Interfaces in comp. Sc. and Oper. Res.*, pp. 1-76, 1997
- Golden, B., Assad, A., Levy, L., Gheysens, F. G., “The Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem”, *Computer & Operations Research*, Vol.11, pp. 49-66, 1984
- Jean-Francois Cordeau, Gilbert Laporte, “Tabu Search Heuristics for the Vehicle Routing Problem”, *Les Cahiers du GERAD*, 2002
- John Sniezek, Lawrence Bodin, “Cost Models for Vehicle Routing Problem”, *Proceedings of the 35th Hawaii International Conference on System Science*, 2002
- Julie Priv, Jacques Renaud, Fayez Boctor, Gilbert Laporte, “Solving a Vehicle Routing Problem Arising in Soft Drink Distribution”, 2005
- Laporte, G. et al., “Classical and Modern heuristics for the vehicle routing problem”, *International transactions in operational research* 7, pp. 285-300, 2000
- Liu, F. H., Shen, S. Y., “The fleet size and mix vehicle routing problem with time windows”, *Journal of Operational research Society* 50, pp. 721-732, 1999
- Montemanni, R., Gambardella, L. M., Rizzoli A. E., Donati A. V., “Ant colony system for a dynamic vehicle routing problem”, *IDSIA*, 2002
- Ochi, L. S. et al., “A parallel evolutionary algorithm for the vehicle routing problem with heterogeneous fleet”, *FGCS*, 14, pp.285-292, 1998
- Osman, I., Salhi, S., “Local search strategies for the vehicle fleet mix problem”, *Modern heuristic search Methods*, pp. 131-153, 1996
- Penousal Machado, Jorge Tavares, Francisco B. Pereira, Ernesto Costa, “Vehicle Routing Problem : Doing it the Evolutionary Way”, 2002
- Renaud, J, Boctor, FF, “A sweep-based algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem”, *European Journal of Operational Research*, pp. 140-618, 2002
- Robert, T. Sumichrast, Markham, I. S., “A Heuristic and Lower bound for a multi-depot Routing Problem”, *Computer & Operations Research*, Vol.22, pp. 1047-1056, 1995
- Ryan, D. M., Hjorring, C., Glover, F., “Extensions fo the Petal Method for Vehicle Routing”, *Journal of Operational Research Society*, Vol.44, pp. 289-296, 1993
- Salhi, S., Rand, G. K., “Improvements to Vehicle Routing Heuristic”, *Journal of the Operational Research Society*, pp. 293-295, 1987
- Salhi, S., Rand, G. K., “Incorporating vehicle routing into the vehicle fleet composition problem”, *European Journal of Operation Research* 66, pp. 313-330, 1993
- Taillard, E.D., “A heuristic column generation method for heterogeneous fleet”, *CRT*, 03,

1996

- Tarantilis, C. D., Kiranoudis, C. T., Vassiliadis, V. S., "A threshold accepting metaheuristic for the heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem", *European Journal of Operational Research* 152, pp. 148-158, 2004
- Tompson, P. M. & Psaraftis, H. N., "Cyclic Transfer Algorithms for the Multivehicle Routing and Scheduling Problem", *Operations Research*, Vol.41, pp. 935-946
- Wassan, N. A., Osman, I. H., "Tabu search variants for the mix fleet vehicle routing problem", *Journal of the Operational Research Society*, 2002