

## 다목적 최적화를 고려한 배차계획 시스템<sup>†</sup>

양병희\* · 이영해\*\*

### A Vehicle Fleet Planning System with Multi-objective Optimization<sup>†</sup>

Byeng-Hee Yang\* · Young-Hae Lee\*\*

#### Abstract

Many vehicle fleet planning systems have been suggested to minimize the routing distances of vehicles or reduce the transportation cost. But the more considerations the method takes, the higher complexities are involved in a large number of practical situations. The purpose of this paper is to vehicle fleet planning system. This paper is considered multi-objective optimization. The vehicle fleet planning system developed by this study involves such complicated and restricted conditions as one depot, multiple nodes(demand points), multiple vehicle types, multiple order items, and other many restrictions for operating vehicles. The proposed algorithm is compared with the nearest neighbor heuristic(NNH) and the savings heuristic (SAH) algorithm in terms of total logistics cost and driving time. This method constructs a route with a minimum number of vehicles for a given demand. This method can be used to any companies which vehicle fleet planning system under circumstances considered in this paper.

## 1. 서 론

갈수록 치열해지는 경쟁과 급속히 변화하는 기업환경에 능동적으로 대처하기 위해 각 기업에서는 경영혁신과 새로운 변화를 모색하고 있

다. 그 중에서도 물류문제는 예전의 창고지기 개념에서 이제는 경영의 핵심 전략부분으로서 그 관심이 커지고 있다. 최근 도시의 교통체증과 운전기사의 인력난으로 인하여 전체 물류비용이 급격히 증대하고 있는 실정이다. 1993년도 우리나라 업계의 총 물류비는 28조원에 달했으

\* 한양대학교 산업공학과

며 이는 GNP의 약 14%를 차지하는 어마어마한 비용이다. 특히 전체 물류비용중에서 수/배송이 44.5%를 점하고 있는 것을 감안할 때 물류에서의 수/배송 비율을 줄이는 것이 주요 과제로 부각하고 있다. 이에 따라 우리나라에서는 1992년에 화물유통촉진법을 제정하면서 물류표준화 사업이 본격적으로 거론되고 있으며, 앞으로 각 기업에서는 현재의 고객서비스 수준을 유지하여 타기업과의 판매경쟁에서 우위를 계속 유지하기 위해서는 보다 면밀한 배송계획 수립이 요구되고 있다[1].

배송을 효율화하기 위해서는 고객의 주문을 적시로 관리하여 출하량을 대량화하고, 출하량 파동을 억제하여야 한다. 이를 위하여 고객에 대한 배송경로를 표준화하고 계획화해야 한다. 예를 들어 다수의 수요처를 지역별로 주문량을 기초로 총별화하여 효율적인 경로에 따라, 고객서비스를 고려하면서 비용과 시간을 최소화하는 배차계획 시스템을 적용할 필요가 있다.

지금까지 소개된 많은 차량문제 기법중 어느 하나도 이론적인 측면과 실용적인 측면 모두를 만족하는 기법은 찾기 힘들다. 이는 각각 배차 특성에 따라 추가적인 제약조건을 다루기가 곤란하기 때문이며, 기존의 범용성 배차 소프트웨어도 각 회사나 단체의 시스템 특성에 따라 다르다. 또한 대부분의 차량 배차문제는 배송 거리와 시간 및 비용을 동일한 변수로 처리하는 단순한 시스템에 국한되어 있으므로 실재 이를 사용하는 데에는 많은 현실적인 문제가 뒤따른다.

본 연구에서는 기점(depot)인 물류센타로부터 수요처인 각 node, 그리고 node와 node 사이의 차량 운송시간이 거리에 따라 일정하게 비례하는 것이 아니라 제반 교통문제 요소가 포함된 실제 배송시간을 고려한다. 배송비용은

기점을 중심으로 거리별로 각 지역(area)이 구분됨에 따라 고정비가 할당되고, 배송하는 node에 따라 변동비가 추가된다. 이처럼 비용과 시간이 이원화되어 있는 배차 시스템을 대상으로 다양한 주문 품목을 복수차종으로 다수의 수요처로 배송하는 문제를 다룬다. 이 때 제품의 단위성을 파괴하지 않으면서 비용과 시간을 동시에 절약하는 다목적 최적화 알고리즘을 개발하고, 기존의 대표적 차량문제 알고리즘이라 할 수 있는 최근인접점 기법(nearest neighbor heuristic ; NNH)과 Savings 알고리즘(SAH)을 상호 비교하여 보다 효율적인 배차계획 시스템을 제시하고자 한다.

본 연구는 2장에서 차량배차 문제에 대한 기존연구에 대하여 고찰하고, 3장에서 배송경로 결정에 대한 수리모형을 4장에서 다목적 최적화(multi-objective optimization)를 고려한 발전적 알고리즘을 제시하며, 5장에서 실험 및 평가를 실시한 후, 6장에서 결론을 내리는 순서로 구성한다.

## 2. 차량 배차문제

차량 배차문제(Vehicle Fleet Planning Problem)란 차량을 이용하여 고객에 대한 서비스를 수행하기 위하여 차량경로(vehicle route)와 방문시간 및 순서(vehicle schedule)를 정하는 제반문제이다. 이 배차문제는 지난 20여년에 걸쳐 국내외에서 많은 연구가 수행되어 왔다.

차량 배차 문제는 크게 차량 경로문제(Vehicle Routing Problem : VRP)와 차량 일정문제(Vehicle Scheduling Problem : VSP)

로 나누어 볼 수 있다[2]. 차량 경로문제는 수요지점에 대한 방문시간제약이나 방문순서의 선행관계(precedance relation)제약이 없는 경우의 배차문제로서 외판원 문제(TSP) 및 복수 외판원 문제(MTSP), 차량 경로문제(VRT) 및 복수차고 차량 경로문제(MDVRP) 등이 있다. 차량 일정문제는 수요지점에 대한 방문시간이 미리 확정적으로 주어질 때의 배차문제로서 최대 운행시간 제약 및 거리 제약 문제, 복수차고 복수차종 일정문제 등이 있다. 또한 통학버스 문제나 비행기 운항계획 문제 등과 같이 차량 경로 및 일정 문제(VRSP)도 많은 연구 대상이 되고 있다. 본 연구는 최적배송경로에 따라 일정한 시간안에 주문량을 배송하는 문제를 다루므로 근본적으로 차량 경로문제의 확장이라 할 수 있다.

차량경로 문제란 적재량과 경유거리의 제약을 가진 차량들이 하나의 기점에서 출발하여 많은 수요처에 물량을 공급하는 문제이다[5]. 차량경로를 결정하는 기법들은 크게 최적해를 찾는 기법과 발견적 기법으로 분류될 수 있다. 최적해를 찾기 위한 기법으로는 Bellmore-Malone과 Christofides-Pierce등에 의해 소개된 Branch & Bound기법과 Balinski & Quandt 그리고 Foster & Ryan에 의해 제안된 0-1 정수계획법을 들 수 있다[6]. 이러한 방법은 개념적이며 단순하여 이해하기 좋고 프로그래밍하기가 편리한 반면에 복잡한 시스템의 실무적용이 곤란하고, 다양한 제약식의 적용이 미흡하므로 극히 작은 규모의 차량경로 문제에 대해서만 적용할 수 있다.

이러한 계산상의 어려움을 극복하기 위해 짧은 시간에 간단히 최적해에 근사한 해를 구할 수 있는 발견적 기법들이 활발히 연구되었다. Dantzing & Ramser[5]에 의해 처음으로 발

견적 기법이 소개된 이후, Clarke & Wright의 "Savings", Gillet & Miller의 "Sweep", Williams의 "proximity priority search", 그리고 Fisher et al.의 "interactive computerized vehicle routing" 기법들이 소개되어 많은 관심을 끌고 있다[3].

대부분의 발견적 기법들은 경로구성절차(route construction procedures)와 경로개선절차(route improvement procedures)의 두가지 과정을 반복하며 해를 구하고 있다. 경로구성 방법은 임의노드 선정시 각 단계마다 정해진 방법에 의해 최소비용의 거래처를 현재경로에 삽입하여 차량경로를 구성해나가는 방법이며, 경로개선방법은 근사적 해를 빠른 시간내에 얻은 후 k-optimal 방법 등을 이용하여 이를 개선해 나가는 방법이다[6][8].

차량경로 문제는 일반적으로 서비스 대상이 되는 고객들의 수요와 공급, 그리고 고객 위치간의 거리가 미리 확정적으로 알려져 있음을 가정하고 있으나, 실제 차량 운송 시스템에서는 고객의 수요나 공급이 환경의 동적 변화에 기인하여 불때 불확실한 경우가 대부분이다. 이처럼 고객의 주문과 운송수단이 확률분포를 따르는 상황에서 차량경로를 결정하는 연구가 최근의 주요 관심이 되고 있다.

그러나 지금까지 소개된 많은 발견적 기법중 어느 하나도 모든 배차문제 상황에서 다른 기법들에 비교하여 그 수행도가 절대적으로 뛰어나지 않다는 것은 매우 중요한 사실이다. 새로운 발견적 기법이 소개될 때마다 선택된 기존의 기법들과의 수행도 평가를 통하여 그 기법의 우수성을 증명하고 있으나, 이것은 실험을 위해 선택된 문제들에 대해 한정된 것일 뿐이지 일반적으로 모든 상황에서의 절대적 우월성은 단정할 수 없다[4][6].

### 3. 수리모형

본 연구에서 다루는 배송 시스템은 하나의 중앙 시발지인 기점을 중심으로 이격거리별로 분할된 node들의 집합  $N$ 을 가정한다. 기점과 각 node, 그리고 각 node 사이는 거리를 토대로 차량 통행제한과 기타 운송요소를 포함한 실소요시간 행렬을 구성한다. 기점으로부터 복수 차종을 이용하여 그때 그때 결정되는 배송 경로에 따라 각 node에 주문된 품목을 제한된 시간내에 배송하고자 한다. 이 때 가용차량은 주문량에 따라 차량 회전을 다르므로 유동적이며, 각 차종별 배송속도는 같다고 가정한다.

node의 주문량은 각 품목의 단위가 차량 한대에 차지하는 적재비율인 볼륨(volume)에 따라 산정되고 전체 주문량을 차량의 적재율로 표시한다. 각 node의 주문 발생은 연속적이며 현실 시스템의 배송용량에 따라 일일 3내지 4회 기점에서 일괄 배송처리한다. 이 때 node별 주문량은 고객 서비스 차원에서 단일배송을 원칙으로 하되 차량 적재율을 초과하는 주문량에 한하여 품목의 단위를 깨뜨리지 않는 범위에서 분할하여 다회배송한다.

배송비용은 기점으로 부터 5km간격으로 구분된 지역에 따라 고정비가 정해져 있으며 경유처가 증가됨에 따라 추가되는 비용은 변동비로 포함되어 계산된다. 이때 각 차종별로 고정비 및 변동비가 다르다. 그리고 상·하차 작업 시간을 고려하여 배송출발과 복귀시간 그리고 실제 차량의 운행시간을 판단하고자 한다.

정의된 문제에 따라 결정하고자 하는 배송경로는 다음과 같은 조건을 가진다.

- 모든 차량은 기점에서 출발하고 기점으로 복귀한다.
- 배송비용과 시간은 상호 독립적이다.
- 주문량은 고객 서비스를 고려하여 주문시점으로 부터  $W$ 시간 안에 배송한다.
- 차량의 적재율은 각 차종별로 정해진 적재범위에 따라 배송경로마다 다르다.
- 모든 수요처의 수요량은 반드시 배달되며 반품은 고려하지 않는다.
- 차량적재율 상한을 초과하는 수요처는 주문품목의 단위를 깨뜨리지 않고 분할하여 다회배송한다.

이러한 문제에 대하여 Fisher & Jaikumar [6]의 기본 차량문제를 응용하여 수식으로 표현하면 다음과 같다.

<기호 정의>

$N$  : node (수요처의 수), node 0은 기점

$V$  : 각 차종의 가용 차량수

$U_k$  : 차량  $k$ 의 적재용량(차종별 차량별 상이)

$S$  : 기점을 포함하는 경로의 집합

$L_{ik}$  : node  $i$ 에 대한 차량  $k$ 의 배송량

$D_i$  : node  $i$ 에서의 주문량

$W$  : 경로별 차량의 최대 배송시간

$F_{ik}$  : 차량  $k$ 의 node  $i$ 에서 node  $j$ 까지의 고정 비용

$V_{ik}$  : 차량  $k$ 의 node  $i$ 에서 node  $j$ 까지의 변동 비용

$C_{ik}$  : 차량  $k$ 의 node  $i$ 에서 node  $j$ 까지의 배송 비용,  $C_{ik} = F_{ik} + V_{ik}$

$T_{ik}$  : 차량  $k$ 의 node  $i$ 에서 node  $j$ 까지의 배송시간

$X_{ik}$  :  $\begin{cases} 1, \text{ 만일 차량 } k \text{가 node } i \text{에서 node } \\ \quad \quad \quad j \text{까지 방문하면} \\ 0, \text{ 그렇지 않으면} \end{cases}$

고, 결정된 경로 안의 경유순서는 Branch and Bound 기법을 통하여 최적화한다.

<수리 모형>

$$\text{Minimize } [ \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^V (C_{ijk} X_{ijk}), \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^V (T_{ijk} X_{ijk}) ] \quad (3.1)$$

subject to

$$\sum_{i=0}^N X_{ijk} - \sum_{j=0}^N X_{ijk} = 0, \forall i, k \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^N L_{ik} \leq U_k, \forall k \quad (3.3)$$

$$\sum_{k=1}^V L_{ik} \leq D_i, \forall i \quad (3.4)$$

$$X \in S \quad (3.5)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N D_i \times_{isk} \leq U_k \quad (3.6)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N T_{ijk} X_{ijk} \leq W, \forall k \quad (3.7)$$

$$X_{ijk} = 0 \text{ 또는 } 1, \forall i, j, k \quad (3.8)$$

$L_{ik} \geq 0, Y_i \geq 0$  : 임의의 실수

위 수리모형에서 식(3.1)은 총배송비용과 총 배송시간을 최소화하는 목적식이다. 식(3.2)는 경로의 연속성으로서 차량이 한 node를 방문하면 반드시 떠나야 한다는 것을 의미하며, 식(3.3)은 각 차종의 배송량이 차량의 적재용량을 초과하지 않아야 한다는 것을 의미한다. 식(3.4)는 수요지점의 주문량에 대한 제약조건이며, 식(3.5)는 Millwe et al.[6]이 제시한 기점 불포함 경로(subtour) 방지 조건식이다. 식(3.6)은 각 경로에 대한 적재용량에 대한 조건식이고, 식(3.7)은 각 경로의 배송시간이 규정된 시간을 초과해서는 안된다는 조건식이며, 식(3.8)은 정수조건을 나타낸다.

이와 같은 배차문제에 대하여 먼저 발견적 알고리즘을 통하여 배송경로 및 비용을 정하

### 4. 발견적 알고리즘

차량경로 문제는 수리적으로 NP-complete 문제로서 경로의 구성이 외판원 문제 (Traveling Salesman Problem)를 반복적으로 구하는 문제와 같으며, 복수차종 및 차량의 적재량과 다수 수요처의 다양한 주문품목 등과 같이 복잡한 제약이 포함될수록 심각한 계산시간상의 문제로 실제적인 해를 구하지 못하는 경우가 많다. 따라서 이러한 제약으로 인하여 최적화 기법보다는 실제적인 시스템에서의 발견적 해법이 필요하게 된다.

실제 배송해야할 node수가 대규모이고 주문 품목이 다양하며 복수차종에 의한 주문 적재량이 복잡한 시스템일 때에는 수리모형으로는 여러가지 제약식을 만족하는 최적 배송경로를 찾기가 현실적으로 매우 어렵기 때문에 다음과 같이 다목적 최적화를 고려한 발견적 알고리즘을 개발하였다.

[[단계 1]] (단일경로구성)

각 차종의 사용가능여부를 판단한다. 주문량이 각 차량의 적재용 범위내에 있는 node를 우선적으로 선정하여 다수의 단일 경로를 결정한다.

[[단계 2]] (차종별 node 병합)

각 차종의 사용가능여부를 판단한다. 방문되지 않은 node 중에서 기점으로 부터 가장 먼 지역의 가장 먼 node를 종자(seed) node로 선

정한다. 현재의 경로가 다음과 같을 때 배송비용을 최소로 하며 차량의 적재용량을 만족하는 node  $R_n$ 를 경로에 삽입한다. 이 때  $R_n$ 가 복수일 때는 가장 먼 node를 선택한다.

경로 =  $(R_0, \dots, R_n, \dots, R_m)$

$R_0$  : 기점,  $R_m$  : 종착 node

병합된 경로에 따라 배송비용은 결정되며, 배송시간의 최적화를 위해 경로안의 경유순서는 Bellmore-Malone의 Branch & Bound 기법으로 여러개의 경유순서를 한개의 순환로, 즉 Hamiltonian 순환로를 만든다[7]. 모든 차종에 대하여 단계 2를 반복한다.

#### [[단계 3]] (분할 node의 경로구성)

적재 상한을 초과하는 node는 분할배송한다. 먼저 가용차량에 따라 적재율 범위내에서 단일경로를 구성하고, 나머지 분할된 주문량에 대해서는 단계 2를 반복한다. 단계 3에서 모든 node가 경로에 포함되었으면 단계 6으로 가고, 경로에 포함되지 않은 node가 존재할 때는 단계 4로 간다.

#### [[단계 4]] (누락된 node의 경로 구성)

각 차종의 사용가능여부를 판단한다. 지금까지 경로구성에 포함되지 않은 node가 있을 경우 가용차량의 적재용량을 기준으로 품목별로 순차적으로 분할하여 상차조합한다.

#### [[단계 5]] (경로개선)

누락된 node의 경로구성은 주문량을 순차적으로 분할하므로 경로의 개선이 필요하다. 초기해에서 차량적재용량 하한에 미달하는  $V_{min}$  경로를 탐색하여 이전경로와 가용 적재용량내에서 node 병합후 이를 비교하여 가능한 해를 개선한다. 이 때 실행시간을 고려하여 경로개선은 1회만 실시한다.

#### [[단계 6]] 결과를 종합하고 알고리즘을 종료한다.

위 알고리즘 절차를 흐름도로 표현하면 [그림 4.1]과 같다.

## 5. 실험 및 평가

본 연구에서는 하나의 기점인 물류센타를 중심으로 이격거리별로 구분된 500개이상의 node를 대상으로 2000여개의 주문 품목을 배송하는 모 제조회사의 축소 배송 시스템을 대상으로 4장에서 제시한 알고리즘을 적용하기로 한다.

○년 ○월 ○일 임의 주문처리 시점에서 수요처 node가 물류센타인 기점을 포함하여 16개라 가정한다. 배송차종은 2.5톤과 5톤의 2종류로 하며, 각 node의 volume은 품목별 수량 1개에 대한 2.5톤 차량 적재율이며, 전체주문량은  $volume \times \text{갯수}$ 로 <표 5.1>과 같다.

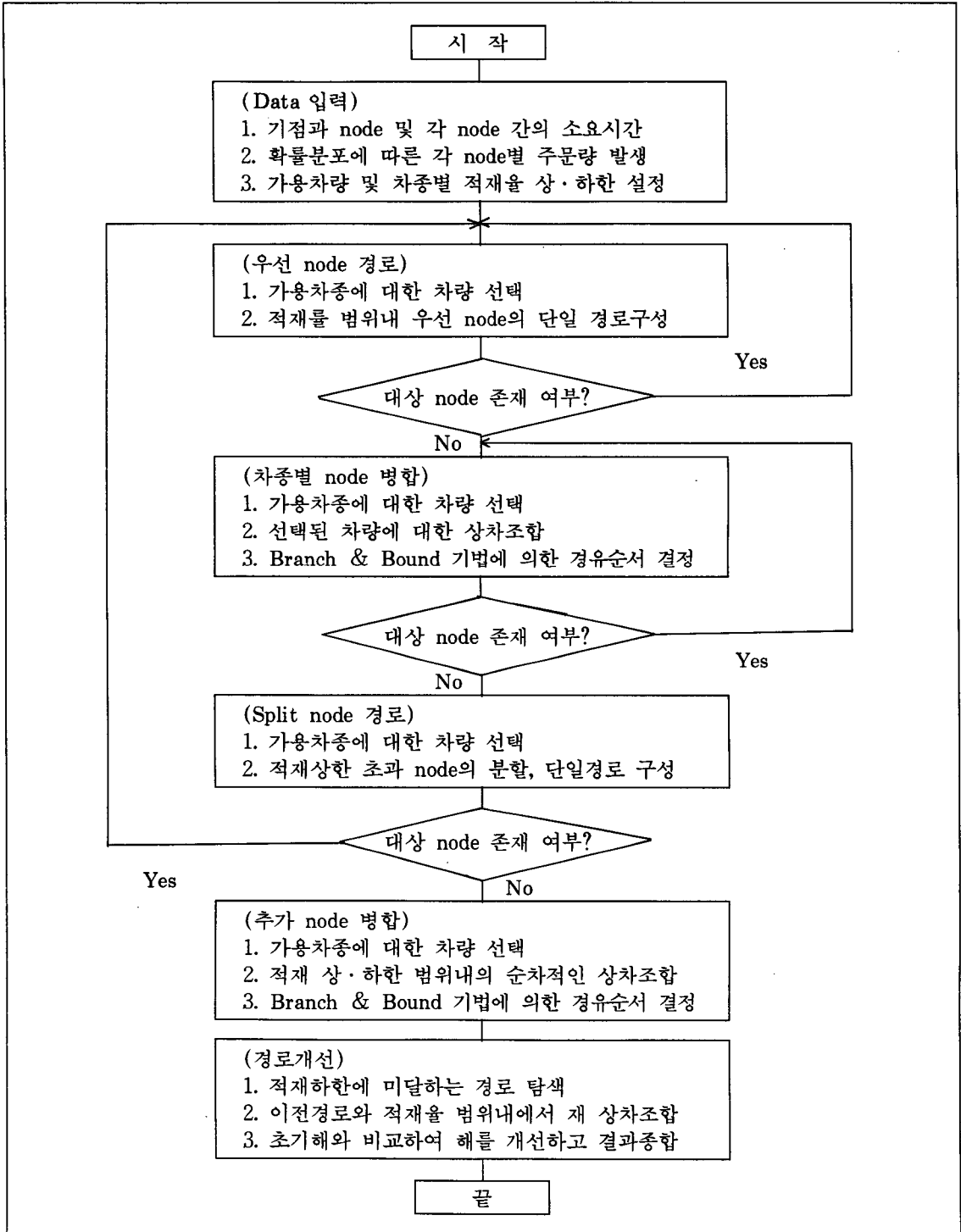
각 지역별 운송비 기준은 <표 5.2>와 같다.

경로 구성시 2.5톤 차량적재율 상한은 105%이고 하한은 90%이며, 5톤 차량적재율 상한은 185%이고 하한은 170%이다(차량 효율 고려 조정가능). 현재 주문처리시 제한차량은 5톤이 3대, 2.5톤이 15대이다. 차종선정은 차량효율을 고려하여 가용한 차량을 선택하여 배정한다.

각 지역별 node간의 실소요시간은 거리를 기본으로 차량통제 및 기타 운행제약요소가 포함된 데이터로서 <표 5.3>과 같다. 이 때 각 배송차종의 운행속도는 동일하다고 가정한다.

이러한 배송 시스템에서 가장 주의할 점은 주문 고객에 대한 서비스 및 배송차량의 상차와 하차 작업을 고려하여, 주문품목들의 단위를 깨뜨리지 않고 배송해야 한다는 점이다.

2개 차종을 고려한 배차 시스템에 대하여 다목적 최적화를 고려한 발전적 알고리즘을 적용한 절차는 다음과 같다.



[그림 4. 1]

배차계획 알고리즘 흐름도

〈표 5.1〉

배송 node별 주문량

지 역	node 번호	item	수 량	volume(%)	총 주문량(%)
A	3	728	20	1	20
	6	1273	22	3	66
		1961	34	2	68
	9	1388	2	2	4
B	14	1470	35	1	35
	16	638	15	3	45
	18	1388	46	4	184
C	33	1275	48	2	96
		1269	6	5	30
	40	1061	29	3	87
	45	450	49	3	147
D	50	264	43	2	86
		216	9	4	36
	59	633	34	3	102
	65	187	25	3	75
G	71	1539	29	3	87
	73	633	34	3	102
	79	586	6	5	30

〈표 5.2〉

지역별 운송비 기준

(단위 : 원)

구 분	고 정 비					변동비
	A지역(15km)	B지역(20km)	C지역(25km)	D지역(30km)	G지역(45km)	
2.5톤	30,500	33,000	36,300	40,300	49,500	3,600
5톤	54,100	58,100	64,100	71,600	88,100	4,500



<표 5. 3>

Time Matrix

(단위 : 분)

구분	0	A3	A6	A9	B14	B16	B18	C33	C40	C45	D50	D59	D65	G71	G73	G79
0	0	20	10	16	40	40	45	40	50	60	60	60	60	85	130	140
A3	20	0	15	15	50	45	50	47	57	67	65	55	65	85	135	145
A6	10	15	0	15	45	45	50	40	50	60	55	55	60	85	130	140
A9	16	15	15	0	45	40	40	50	60	60	65	55	60	85	130	140
B14	40	50	45	45	0	20	35	40	35	45	35	30	45	90	120	130
B16	40	45	45	40	20	0	15	40	25	45	45	35	35	90	90	130
B18	45	50	50	40	35	15	0	45	40	50	40	40	30	85	125	125
C33	40	45	40	50	35	30	30	0	20	45	30	30	40	80	80	80
C40	50	50	50	60	35	25	25	20	0	35	25	25	40	80	80	80
C45	60	60	60	70	40	35	35	25	25	0	25	30	40	80	80	80
D50	60	60	65	65	35	35	40	35	25	15	0	10	15	50	70	80
D59	60	55	60	60	30	35	40	40	30	30	10	0	15	55	65	75
D65	60	70	60	70	40	45	45	40	30	25	15	15	0	35	45	60
G71	70	75	70	80	75	70	70	40	40	50	50	45	30	0	30	40
G73	130	135	130	140	90	80	80	75	80	60	55	55	40	20	0	17
G79	140	150	140	150	95	90	90	80	95	70	55	55	45	30	18	0

[단계 1] 각 차종의 사용가능여부를 판단한다.  
 주문량이 차량의 가용적재율 범위내에 있는  
 node를 우선적으로 찾아서 단일경로를 구성한  
 다. 현재의 주문시점에서는 B<sub>18</sub>, C<sub>33</sub>, D<sub>59</sub>, G<sub>73</sub>  
 node가 이에 해당한다.

#1 2.5톤 차량 단일경로

① 0-G<sub>73</sub>-0 : 비용 49,500

경유시간 130+130=260

적재율 102%

② 0-D<sub>59</sub>-0 : 비용 40,300

경유시간 60+60=120

적재율 102%

③ 0-C<sub>33</sub>-0 : 비용 36,300

경유시간 40+40=80

적재율 96%

#2 5톤 차량 단일경로

④ 0-B<sub>18</sub>-0 : 비용 58,100

경유시간 45+45=90

적재율 184%

[단계 2] 2.5톤 차량의 사용가능여부를 판단하여 가용적재용 범위까지 상차조합을 한다. 먼저 기점에서 가장 먼 지역인  $G_{79}$  node를 종자 node로 선정하여  $0-G_{79}$ 를 구성하고 가용 적재용에 따라 추가 node를 판단하여 삽입한다. 이 때 각 경로의 경우 순서는 Branch & Bound 기법을 따른다.

⑤  $0-D_{65}-G_{79}-0$  :

비용  $49,500+3,600=53,100$   
 경유시간  $60+60+140=260$ ,  
 적재용  $75+30=105\%$

다음으로  $D_{50}$  node를 종자 node로 선정하여 상차조합한다.

⑥  $0-C_{33}-D_{50}-B_{14}-0$  :

비용  $40,300+3,600*2=47,500$   
 경유시간  $40+30+35+40=145$ ,  
 적재용  $35+30+36=101\%$

다음으로  $A_9$  node를 종자 노드로 선정하여 상차조합한다.

⑦  $0-A_6-A_9-A_3-0$  :

비용  $30,300+3,600*2=37,700$   
 경유시간  $10+15+15+20=60$ ,  
 적재용  $68+4+20=92\%$

이제 2.5톤으로 상차조합이 불가능하므로 5톤 차종을 고려하여 동일한 절차로 경로를 결정한다.

⑧  $0-D_{50}-G_{71}-0$  :

비용  $88,100+4,500=92,600$   
 경유시간  $60+50+70=180$ ,  
 적재용  $86+87=173\%$

더 이상 5톤으로 상차조합이 불가능하므로 단계 3으로 간다.

[단계 3] 각 차종의 사용가능여부를 판단한다. 적재 상한율을 초과하는 node는 먼저 가용차량에 따라 단일경로를 구성하고, 분할된 품목별 초과주문량에 대하여 단계 2를 반복한다.

#1 2.5톤 차량 단일경로

⑨  $0-C_{45}-0$  : 비용 36,300

경유시간  $60+60=120$ , 적재용 105%

#2 5톤 차량 단일경로 : 없음

$C_{45}$  node의 초과 적재량  $147-105=42\%$

( $\overline{C_{45}}$ )를 분할한다. 5톤 차량의 단일경로는 없으므로 단계 2로 간다.

[단계 2] 2.5톤 차량에 사용가능여부를 판단한다. 가용한 2.5톤 차량으로 가용적재용 범위까지 상차조합을 한다. 그러나 발생하는 경로가 없으므로 다음 차종을 고려한다. 5톤 차량의 사용가능여부를 판단한다. 가용한 5톤 차량으로 가용적재용 범위까지 상차조합을 한다. 기점에서 가장 먼 지역 가장 먼  $\overline{C_{45}}$ 를 종자 node로 선정하여  $0-\overline{C_{45}}$ 를 구성한다.

⑩  $0-B_{16}-C_{40}-\overline{C_{45}}-0$  :

비용  $64,100+4,500*2=73,100$   
 경유시간  $40+35+35+60=170$ ,  
 적재용 174%

더이상 발생하는 경로가 없으므로 단계 4로 간다.

[단계 4] 각 차종의 사용가능여부를 판단한다. 지금까지 경로구성에 포함되지 않은 잔여 node에 대해 마지막 경로를 구성한다.

⑪  $0-A_6-0$  : 비용 30,500

경유시간  $10+10=20$ , 적재용 66%

이 때 마지막 경로는 차량적재 하한에 상관이 없이 경로를 구성하고 단계 5로 간다.

[단계 5] 초기해에서 차량적재용 하한에 미달하는  $V_{min}$  경로를 탐색한다. 대상경로는 ⑩번(66%) 뿐이다. 가용 적재량 한도내에서 이전 경로에 대상 node를 병합하여 이전해와 비교하여도 해가 개선되지 않으므로 단계 6으로 간다.

[단계 6] 전체배송비용 및 전체경유시간(총차량운행시간)과 배송시간 및 차량복귀시간, 그리고 차량 총 사용현황을 계산하고 알고리즘을 종료한다.

이상과 같이 개발된 알고리즘에 의한 배송경로는 <표 5.5>와 <표 5.6>과 같다.

<표 5. 4> 개발된 알고리즘을 적용한 경로 : 복수차종

순서	경로	배송차량	경유시간	배송비	주문량
①	0-C <sub>73</sub> -0	2.5톤	260	49,500	102%
②	0-D <sub>59</sub> -0	2.5톤	120	40,300	102%
③	0-C <sub>33</sub> -0	2.5톤	80	36,300	96%
④	0-B <sub>18</sub> -0	5톤	90	58,100	184%
⑤	0-D <sub>65</sub> -G <sub>79</sub> -0	2.5톤	260	53,100	105%
⑥	0-C <sub>33</sub> -D <sub>50</sub> -B <sub>14</sub> -0	2.5톤	145	47,500	101%
⑦	0-A <sub>6</sub> -A <sub>9</sub> -A <sub>3</sub> -0	2.5톤	60	37,700	92%
⑧	0-D <sub>50</sub> -G <sub>71</sub> -0	5톤	180	92,600	173%
⑨	0-C <sub>45</sub> -0	2.5톤	120	36,300	105%
⑩	0-B <sub>16</sub> -C <sub>40</sub> -C <sub>45</sub> -0	5톤	170	73,100	174%
⑪	0-A <sub>6</sub> -0	2.5톤	20	30,500	66%
합계	총 11개 경로	5톤 3대 2.5톤 8대	1,505	555,000	1,300%

<표 5. 5> 개발된 알고리즘을 적용한 경로 : 단일차종(5톤)

순서	경로	배송차량	경유시간	배송비	주문량
①	0-B <sub>18</sub> -0	5톤	90	58,100	184%
②	0-A <sub>9</sub> -D <sub>50</sub> -G <sub>73</sub> -G <sub>79</sub> -0	5톤	308	101,600	172%
③	0-A <sub>3</sub> -D <sub>65</sub> -G <sub>71</sub> -0	5톤	190	97,100	182%
④	0-C <sub>33</sub> -D <sub>59</sub> -B <sub>16</sub> -0	5톤	145	80,900	177%
⑤	0-C <sub>40</sub> -D <sub>50</sub> -0	5톤	135	76,100	173%
⑥	0-B <sub>14</sub> -C <sub>45</sub> -0	5톤	145	68,600	182%
⑦	0-C <sub>33</sub> -0	5톤	80	64,100	96%
⑧	0-A <sub>6</sub> -0	5톤	20	54,100	134%
합계	총 8개 경로	5톤 8대	1,113	600,300	1,300%

〈표 5. 6〉 개발된 알고리즘을 적용한 경로 : 단일차종(2.5톤)

순서	경로	배송차량	경유시간	배송비	주문량
①	0-G <sub>73</sub> -0	2.5톤	260	49,500	102%
②	0-D <sub>50</sub> -0	2.5톤	120	40,300	102%
③	0-C <sub>33</sub> -0	2.5톤	80	36,300	96%
④	0-D <sub>65</sub> -G <sub>79</sub> -0	2.5톤	260	53,100	105%
⑤	0-C <sub>33</sub> -D <sub>50</sub> -B <sub>14</sub> -0	2.5톤	145	47,500	101%
⑥	0-A <sub>6</sub> -A <sub>9</sub> -a <sub>3</sub> -0	2.5톤	60	37,700	92%
⑦	0-C <sub>45</sub> -0	2.5톤	120	36,300	105%
⑧	0-B <sub>18</sub> -0	2.5톤	90	33,000	104%
⑨	0-D <sub>50</sub> -G <sub>71</sub> -0	2.5톤	180	53,100	105%
⑩	0-D <sub>50</sub> -C <sub>45</sub> -0	2.5톤	135	43,900	104%
⑪	0-C <sub>40</sub> -C <sub>45</sub> -0	2.5톤	145	39,900	93%
⑫	0-B <sub>16</sub> -B <sub>18</sub> -0	2.5톤	100	36,600	104%
⑬	0-A <sub>6</sub> -B <sub>16</sub> -0	2.5톤	85	36,600	87%
합계	총 13개 경로	2.5톤 13대	1,780	543,800	1,300%

다목적 최적화를 고려한 발견적 알고리즘과 차량경로 문제에서 가장 많이 사용되고 있는 기존의 최근인접점 방법 및 Savings 알고리즘을 적용하여 상호 비교하고자 한다. Savings 알고리즘은 Clarke과 Wright['64]에 의해 시작되었으며 추후 개발된 대부분의 발견적 기법의 기본이 되었다. 이는 node간의 소요시간에 대한 Savings를 계산하여 그 크기 순으로 Savings가 큰 것부터 차례로 열거하여 Savings file을 작성하고, Savings가 큰 순서대로 이용 가능한 차량 적재율을 고려하여 두 지점을 연결해 나가는 기법이다[6].

동일한 배송 시스템 문제에 대해 기존의 대

표적 알고리즘에 의해 결정된 배송경로는 〈표 5.7〉, 〈표 5.8〉, 〈표 5.9〉와 같다.

각 알고리즘에 대해서 3번씩 실험한 결과 적재율에 따라 기점에서 가까운 노드순으로 차량 경로를 구성하는 최근인접점 방법보다 본 연구에서 제시한 알고리즘 #1 이 배송비용면에서 4.7% 내지 8.2%까지, 경유시간면에서 5.4%내지 26.3%까지 더 효율적이었으며, Savings 알고리즘보다 알고리즘 #1 이 배송비용면에서 7.2%까지 더 효율적이었다. 특히 비용과 시간이 독립적으로 이원화된 시스템에서 기존의 알고리즘으로는 비용과 시간 등 다목적에 동시에 만족시키기란 어려운 문제이다.

<표 5.7> 기존 알고리즘 적용 : 복수차종

순서	최근인접법				Savings 알고리즘			
	경로	시간	배송비	주문량	경로	시간	배송비	주문량
①	0-A <sub>3</sub> -A <sub>6</sub> -A <sub>9</sub> -0	66	37,700	90%	0-D <sub>50</sub> -G <sub>73</sub> -G <sub>79</sub> -0	287	97,100	168%
②	0-A <sub>6</sub> -B <sub>14</sub> -0	95	36,600	103%	0-D <sub>65</sub> -G <sub>71</sub> -0	165	92,600	162%
③	0-B <sub>18</sub> -0	90	58,100	184%	0-C <sub>40</sub> -D <sub>50</sub> -0	135	76,100	173%
④	0-B <sub>16</sub> -C <sub>33</sub> -0	120	39,900	75%	0-B <sub>14</sub> -B <sub>16</sub> -0	100	36,600	80%
⑤	0-C <sub>33</sub> -0	80	36,300	96%	0-A <sub>6</sub> -C <sub>33</sub> -0	98	39,900	98%
⑥	0-C <sub>40</sub> -0	100	36,300	87%	0-A <sub>6</sub> -C <sub>33</sub> -0	98	39,900	98%
⑦	0-C <sub>45</sub> -G <sub>79</sub> -0	280	92,600	177%	0-D <sub>59</sub> -0	120	40,300	102%
⑧	0-D <sub>50</sub> -G <sub>71</sub> -0	180	92,600	173%	0-C <sub>45</sub> -0	120	36,300	105%
⑨	0-D <sub>50</sub> -0	120	40,300	36%	0-C <sub>45</sub> -0	120	36,300	42%
⑩	0-D <sub>59</sub> -0	120	40,300	102%	0-C <sub>33</sub> -0	80	36,300	96%
⑪	0-D <sub>59</sub> -0	120	40,300	102%	0-C <sub>33</sub> -0	80	36,300	96%
⑫	0-D <sub>65</sub> -0	120	40,300	75%	0-B <sub>18</sub> -0	90	33,000	105%
계	총 12개 경로	1,631	600,500	1,300%	총 12개 경로	1,471	595,200	1,300%

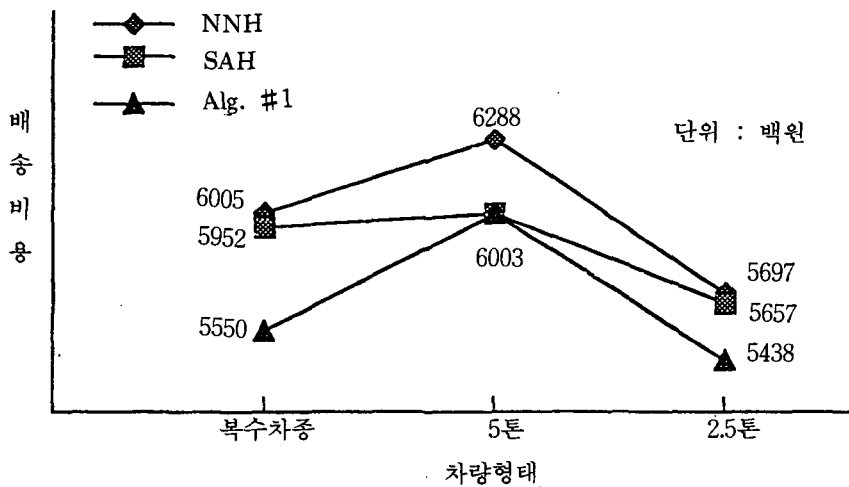
<표 5.8> 기존 알고리즘 적용 : 단일차종(2.5톤)

순서	최근인접법				Savings 알고리즘			
	경로	시간	배송비	주문량	경로	시간	배송비	주문량
①	0-A <sub>3</sub> -A <sub>6</sub> -A <sub>9</sub> -0	66	37,700	90%	0-D <sub>65</sub> -G <sub>79</sub> -0	260	53,100	105%
②	0-A <sub>6</sub> -B <sub>14</sub> -0	95	36,600	103%	0-D <sub>45</sub> -D <sub>50</sub> -0	135	43,600	78%
③	0-B <sub>16</sub> -C <sub>33</sub> -G <sub>79</sub> -0	300	56,700	105%	0-B <sub>14</sub> -B <sub>16</sub> -0	100	36,600	80%
④	0-B <sub>18</sub> -0	90	33,000	105%	0-A <sub>3</sub> -A <sub>6</sub> -A <sub>9</sub> -0	66	37,700	90%
⑤	0-B <sub>18</sub> -0	90	33,300	79%	0-A <sub>6</sub> -C <sub>33</sub> -0	98	39,900	98%
⑥	0-C <sub>33</sub> -0	80	36,300	96%	0-G <sub>73</sub> -0	260	49,500	102%
⑦	0-C <sub>40</sub> -0	100	36,300	87%	0-G <sub>71</sub> -0	170	49,500	87%
⑧	0-C <sub>45</sub> -0	120	40,300	102%	0-D <sub>59</sub> -0	120	40,300	102%
⑨	0-C <sub>45</sub> -D <sub>50</sub> -0	145	43,900	78%	0-D <sub>50</sub> -0	120	40,300	86%
⑩	0-D <sub>50</sub> -0	120	40,300	86%	0-C <sub>45</sub> -0	120	36,300	87%
⑪	0-D <sub>59</sub> -0	120	40,300	102%	0-C <sub>40</sub> -0	100	36,300	87%
⑫	0-D <sub>65</sub> -0	120	40,300	75%	0-C <sub>33</sub> -0	80	36,300	96%
⑬	0-G <sub>71</sub> -0	170	49,500	87%	0-B <sub>18</sub> -0	90	33,000	79%
계	2.5톤 14개 경로	1,876	569,700	1,300%	2.5톤 14개 경로	1,801	565,700	1,300%

<표 5. 9> 기존 알고리즘을 적용 : 단일차종(5톤)

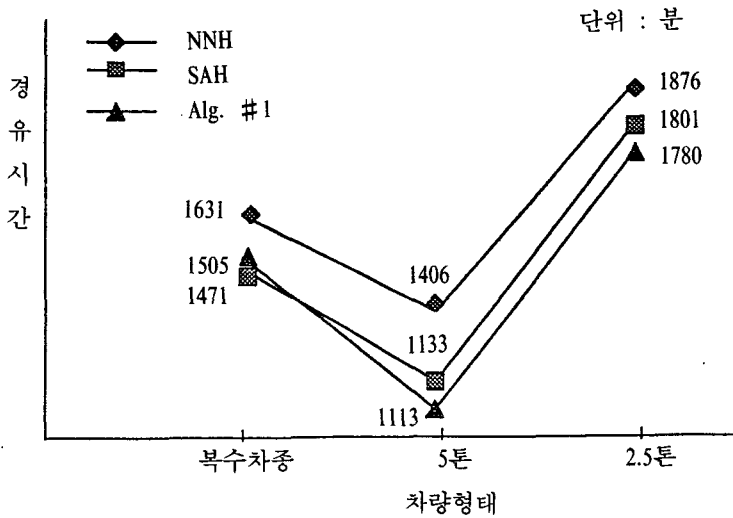
순서	최근인접점 방법				Savings 알고리즘			
	경로	시간	배송비	주문량	경로	시간	배송비	주문량
①	0-A <sub>3</sub> -A <sub>6</sub> -A <sub>9</sub> -0	66	63,100	158%	0-D <sub>50</sub> -G <sub>73</sub> -G <sub>79</sub> -0	287	97,100	168%
②	0-B <sub>14</sub> -B <sub>16</sub> -C <sub>33</sub> -0	90	58,100	184%	0-C <sub>40</sub> -D <sub>50</sub> -0	135	76,100	173%
③	0-B <sub>18</sub> -0	90	58,100	184%	0-C <sub>40</sub> -D <sub>50</sub> -0	135	76,100	173%
④	0-C <sub>33</sub> -C <sub>40</sub> -D <sub>50</sub> -0	145	80,600	153%	0-B <sub>14</sub> -C <sub>33</sub> -D <sub>59</sub> -0	150	80,600	176%
⑤	0-C <sub>45</sub> -G <sub>79</sub> -0	280	92,600	177%	0-B <sub>16</sub> -C <sub>33</sub> -0	120	68,600	141%
⑥	0-D <sub>50</sub> -D <sub>65</sub> -0	135	44,800	167%	0-A <sub>3</sub> -A <sub>6</sub> -A <sub>9</sub> -0	66	63,100	158%
⑦	0-D <sub>59</sub> -0	120	40,300	102%	0-C <sub>45</sub> -0	120	64,100	147%
⑧	0-G <sub>71</sub> -0	155	88,100	87%	0-B <sub>18</sub> -0	90	58,100	184%
⑨	0-G <sub>73</sub> -0	260	88,100	102%	-	-	-	-
계	5톤 9개 경로	1,391	628,800	1,300%	5톤 8개 경로	1,113	600,300	1,300%

본 연구에서 제시한 알고리즘(그림에서의 Alg.#1)과 기존의 최근인접점 방법(그림에서의 NNH) 및 Savings 알고리즘(그림에서의 SAH)의 실행 결과를 종합하여 그래프로 비교하면 [그림 5.1]과 [그림 5.2]와 같다.



[그림 5.1]

배송비용 비교



[그림 5.2]

경유시간 비교

<그림 5.1>과 <그림 5.2>에서 보는 것처럼 고려하는 차종이 모두 가용할 때에는 5톤 차량으로 배송하는 것이 2.5톤 차량으로 배송하는 것에 비하여 비용면에서는 효율적인 반면에 경유시간면에서는 비효율적이므로, 비용과 시간을 동시에 고려하여 최적의 차종을 선택하는 것도 중요한 변수이므로 가용차량 선택시 이러한 차

량효율 판단이 포함되어야 한다.

위 실험에서 효율적이라 판단된 알고리즘 #1을 C언어로 코드화하여 IBM-PC 486 DX2-50 상에서 실행시킬 때 화일로 관리되는 시스템의 실제 입력 데이터는 <표 5.10>과 같다.

<표 5.10>

입력 내용

- \* 기점와 각 node, 각 node간의 실제 소요시간
- \* 각 차량의 형태 및 수량
- \* 생산 제품의 volume 및 수량과 각 node의 주문량
- \* node 수 : 80(임의)
- \* 주문 품목(item) 수 : 2,000(임의)
- \* 임의 주문처리시점에서 node로부터의 총 주문건수 : 200(임의)

이러한 입력 데이터에 대한 종합 출력내용은 <표 5.11>과 같다.

<표 5.11> 종합 출력 내용

***** *** OUTPUT SUMMARY *** *****		
NUMBER OF ORDERS	:	200
USED 2.5 TON	:	59
USED 5 TON	:	14
TOTAL DRIVING TIME	:	8787 Min
TOTAL CONSUMED TIME	:	16227 Min
TOTAL LOGISTICS COST	:	3529200 Won
*****		

실행 결과 임의 주문처리시점에서의 주문건수 200에 대하여 결정된 배송경로는 2.5톤 차량이 59개, 5톤 차량이 14개이다. 총 경유시간은 8,787분이며, 배송물량을 차량에 적재하고 각 수요처에 하역하는 제반 작업시간이 포함된 총 배송 소요시간은 16,227분이고, 이에 대한 총 배송비용은 3,539,200원이다. 각각의 배송경로에 대한 세부 내용도 <표 5. 11>과 동일한 양식으로 표현된다.

본 연구에서 주문량의 품목 단위를 깨뜨리지 않고, 복수 차종의 적재율을 고려하여 차량경로를 구성하고, 이를 점차 발전시키는 발전적 알고리즘을 구체화한것으로서, 기존의 수작업 배차시 동시에 고려되기 어려운 다수의 제약조건을 만족하며 배송경로를 최소화하므로 차량이용 효율을 높일 수 있는 배차 해법 및 배차시스템 프로그램을 개발하였다. 이는 경로구성 방법과 개선절차가 매우 간편하므로 빠른 시간에 경로구성이 이루어질 수 있어 실시간 처리

가 가능하다(주문 건수 200에 대해 평균 run-time : 1분 40초 소요). 이 배차 프로그램은 특히 복수차종과 대규모 node, 그리고 다양한 주문품목(2,000개 이상)과 대규모 주문처리건수(주문건수 1,000건 동시 처리 가능)에 대한 실제적이고 복잡한 배송시스템에 유용하다. 이러한 알고리즘을 최근인접점 방법에 의해 경로를 결정하는 모 제조회사 배송 시스템에 적용하였을 때, 기존 배송비용의 20%와 배송시간의 11%이상을 절감하는 효과를 가져왔다. 부가적으로 배송경로를 최소화하고 차종을 유동적으로 운영하며 소요차량을 예측할 수 있으므로 차량수급이 용이하고, 차량의 배송시간 및 복귀시간을 알수 있기 때문에 계획적인 배차가 가능하므로 배송업무의 합리화가 가능하다. 또한 본 프로그램의 모든 정보가 화일 처리로 수행되므로 필요한 정보의 형식만 갖추면 여타의 비슷한 배송 시스템에 적용이 가능하다.



## 6. 결론

본 연구는 차량문제에서 기존의 해법이 비용과 시간을 종속적으로 고려한 것과는 달리 독립적으로 운영되고 있는 현실 시스템을 대상으로 2개 이상의 목적식을 동시에 최적화 시키는 발견적 알고리즘을 제시하였다. 제시한 다목적 최적화 해법으로 배송경로를 정한 다음, 최적화 기법으로 경우순서를 결정하여 배송시간을 최소화하였다.

다목적 최적화를 고려한 배차계획 시스템의 연구 결과, 비용과 시간을 절감시키는 배송경로를 결정하여 어떤 차량으로, 어떤 수요처에, 어떤 물품을 배송하고, 언제 돌아올 것인가, 그리고 그에 따른 배송비는 얼마인가? 라는 요구 사항에 대해 결과 제시가 가능하게 되었다. 특히 배송거리나 시간단축으로 고객 서비스를 향상시켜 배송 시스템을 최적화하여 계획적으로 배차작업으로 시스템의 관리 수준을 향상시켰으며, 배송차량의 효율적 운영으로 차량 대수 감축과 배송차량의 운영비 절감 및 상하차 작업을 편리하게 할 수 있게 되었다. 앞으로의 과제는 특수 문제상황과 추가적인 제약조건을 다루기 쉽도록 사용자 위주의 데이터 베이스 시스템을 보강한 범용성 소프트웨어를 개발하는 것이다.

## 참고문헌

- [1] 윤문규외, "한국 물류표준화 무엇부터 해야 하나," 「물류정보지」, 1994. 3, pp. 45-56
- [2] 라연주, 송서현, 박순달, "제품수송을 위한

일일 배차 계획 시스템의 개발", 「전산활용 연구지」, 제 5권 제1호, 1992. 12. pp. 27-48.

- [3] 송선현과 박순달, "배차문제 : 연구현황과 전망", 「한국군사운영분석학회지」, 제 12권 제 2호, 1986. 12. pp. 37-55.
- [4] Albertq, Garcial-Diaz, "A Heuristic Circulation-Network Approach to Solve the Multi-Traveling Salesman Problem," John Willy & Sons, *Networks*, Vol.15, 1985, pp.455-467.
- [5] Dantzig, G. P & Ramser, J. H., "The Truck Dispatching Problem," *Management Science*, Vol. 6, 1959, pp. 80-91.
- [6] Lawler, E. L. et al., *The Traveling Salesman Problem*, J. Wiley & Sons Ltd, 1985, pp. 431-448.
- [7] Wiston, Wayne L., *Introduction to Mathematical Programming Application & Algorithms*, PWS-KENT, 1991, pp. 461-488.
- [8] Golden, B. L., T. L. Magnanti, and H. Q. Nauen, "Implementing Vehicle Routing Algorithms," *Networks*, Vol. 7, 1977, pp. 113-148.