

工學碩士 學位論文

방문순서를 고려한 적재 문제에 관한 발견적
해법

A Heuristic Method for Container Loading on Considering
Routing Sequence

指導教授 申 宰 榮

2007年 2月

韓國海洋大學校 大學院

東北亞物流시스템學科

李 正 雨

A Heuristic Method for Container Loading on Considering Routing Sequence

Lee, Jung Woo

Department of Logistics Engineering
Graduate School of Korea Maritime University

Abstract

The Three-Dimensional Bin packing problem (3BP) consists of allocating, without overlapping, a given set of three dimensional rectangular items to the minimum number of three dimensional identical finite bins. This paper presents a heuristic solution for the three dimensional container loading problem on considering routing sequence. The container loading problem on considering routing sequence is formulated as a zero-one mixed integer programming model whose objective is to minimize number of vehicle. Due to its problem complexity, I propose a heuristic algorithm based on tower loading technique.

목 차

제 1 장 서 론.....	5
1.1 연구의 배경 및 필요성.....	5
1.2 관련 문헌 연구.....	6
1.2.1 적재 문제에 관한 연구.....	6
1.3 논문의 구성.....	8
제 2 장 모형의 수립.....	9
2.1 문제의 설정.....	9
2.2.1 기본 문제 정의.....	9
2.2 수리적 모델.....	10
2.3 모형의 특성.....	14
제 3 장 발견적 해법 및 적용.....	15
3.1 발견적 해법.....	15
3.1.1 Tower의 정의.....	16
3.1.2 발견적 기법의 개괄적 흐름.....	19
3.1.3 발견적 기법의 상세한 흐름.....	20
3.2 예제의 수행.....	23
제 4 장 결론 및 향후 연구방향.....	27
참고 문헌.....	28

표 목차

<표 1: 물품 정보>.....	23
<표 2: 지점 별 이동시간>.....	24
<표 3: 리스트 작성 예>.....	24
<표 4: 타워 내 적재 패턴 예>.....	25

그림 목차

<그림 1: 적재방안의 발견적 해법 순서>.....	16
<그림 2: 타워의 조건>.....	17
<그림 3: 타워의 적재 구조>.....	18
<그림 4: 방문순서의 표현>.....	26
<그림 5: 용기 내 타워 배치도>.....	26

순서도 목차

<순서도 1: 발견적 해법의 순서도>.....	19
---------------------------	----

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 필요성.

과거와 현재의 운송패턴은 많은 차이점이 있다. 과거에는 주로 단일 품목의 대량수송, 단일 목적지로 가는 운송 패턴을 가졌지만, 요즘에는 전자상거래의 발달과 고객서비스의 요구 수준의 증가로 다품종 소량수송, 문전서비스를 제공하는 운송패턴을 가지고 있다. 이러한 흐름에 따라 운송에 있어 용기 내 적재패턴에도 변화가 있어야 한다. 기존의 적재문제(Bin-Packing)의 패턴은 같은 용기내의 물품은 목적지가 동일하다는 가정 아래 물품의 부피나 중량제약을 고려하여 최대한 용기의 적재 효율성을 높이는 것에 주력하고, 정수계획법 문제의 단점인 계산시간의 감소를 위한 발견적 해법들이 많이 연구되어왔다. 이러한 기존의 연구는 현대의 운송패턴에 적용을 하게 되면 운송용기의 수가 증가할 수 밖에 없으며, 설사 한 용기에 적재한다고 해도 각 목적지에 방문할 때마다 적재된 물품의 재배치가 불가피 할 것이다. 그러므로 물품의 적재단계에서 목적지의 방문순서를 고려하여 현재의 상황에 맞는 효과적인 문제 해결 방안이 필요하게 되었다.

기존의 적재문제연구는 앞서 언급했듯이 용기내의 적재될 모든 물품들은 단일 목적지를 가지고 있는 것을 가정하여 적재패턴을 결정하였다. 따라서 현재의 상황에 맞는 용기내의 물품들이 각기 다른 복수 목적지를 가지고 있는 적재문제에는 적용을 하기가 어렵다. 왜냐 하면, 복수의 목적지를 가진다는 말은 용기(차량)의 이동경로를 고려하여 적재패턴을 결정한다는 것인데, 이는 상충관계(Trade off)인 “물품의 효율적 적재”와 “차량운행회전율” 모두를 최적화시켜 전제 비용을 줄여야 하기 때문이다.

실제로 적재 문제는 동일 용기내의 물품의 목적지가 같다는 가정을 가지고 적재용기의 용적률을 최대로 하면서 적재 물품의 하중 분포를 균일화시키는 적재패턴연구, 적재 물품의 양에 비례하여 늘어나는 계산시간을 단축시키는 발견적 해법은 연구를 하였으나, 동일 용기

내의 물품이 복수 목적지를 가져 발생하는 각 물품의 방문순서를 고려한 적재패턴 연구는 없었다. 또한 복수 목적지를 방문하는 차량 경로 문제(VRP)는 동일한 용기내의 적재된 물품의 총 중량제약, 수요지의 총 수요제약만을 고려하여 실제로 물품의 적재패턴을 고려한 알고리즘 연구가 빠져있다. 따라서 본 연구에서는 실제 물류비의 최소화를 위해 적재 작업시 차량 경로 순서를 고려하여 각 수요지 마다 재 배치 작업을 줄이면서, 적재효율을 최대한으로 할 수 있는 적재패턴 모델을 제시하고 해법을 연구한다. 이는 각 수요지 마다 물건의 재 배치 작업을 줄여 노무비 감소와 작업시간 감소를 가져오면서 용기 적재의 효율성을 극대화시켜 기업에게 전체 물류비 증가 부담을 해소 시키고 고객 서비스의 수준을 향상시키는 데에 큰 도움이 될 것이다.

1.2 관련 문헌 연구

적재 문제에 대한 차량 경로 문제를 고려하는 연구는 그 필요성이 증가하고 있으나, 아직까지 문제에 대한 연구가 많이 부족한 실정이다. 그러나 기존의 적재 문제에 대한 연구는 많이 이루어져 왔다. 따라서 본 단락에서는 다양한 적재 문제 연구를 살펴 보고자 한다.

1.2.1 적재 문제에 관한 연구

실질적으로 적재문제에 관한 연구는 물류 분야 중 포장과 수송 분야에 관련하여 활용도가 높은 컨테이너와 팔레트의 효율적인 적재 방안을 고려하는 연구가 대부분이었다. 초기의 적재문제 연구들은 컨테이너와 팔레트에 물건을 적재하는 문제에 대해 1-차원, 2-차원의 비교적 단순한 해법 연구를 주로 수행 하였다. 그러나 컨테이너 적재 문제는 공간의 활용에 관한 문제이므로 3-차원 상에서의 해법 연구가 실제 요소를 반영 할 수 있어 연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서 적재 문제는 다른 여러 제약 조건이 있지만, 다음과 같이 분류가

될 수가 있다.

(1) 1-차원 적재 문제

(2) 2-차원 적재 문제

(3) 3-차원 적재 문제

(1) 1-차원, 2-차원 적재 문제

Gilmore와 Gomory(1965)는 적재 문제는 근본적으로 Cutting Stock 문제와 같다고 생각하고 열 생성 기법(column generating approach)을 이용한 선형 계획 문제로 해결될 수 있음을 보여 주었다. Golden(1976) 역시 1-차원상의 막대 자르기 문제(cutting stock problem)를 다루었고, Gilmore(1965), Christofides(1977) 등은 잘라질 평면의 크기와 수에 제약을 가할 수 있는 2-차원상의 막대 자르기 문제를 해결 할 수 있는 알고리즘을 연구 하였다. Gehring et al. (1997)는 컨테이너에 박스를 Tower 형태로 쌓아 Tower의 Base가 되는 박스를 2-차원 평면상에 유전자 알고리즘을 이용하여 적재하는 연구를 하였다. 김홍배 외 2(1998)은 세트 제품 구성품을 동일한 수량으로 적재하기 위해 높이 방향이 고정된 2-차원 문제로 단순화 한 후 공간 분할을 통해 적재를 하였다. 또한 Bortfeldt(2006)는 2차원 상에서 박스형태의 물건을 회전제약과 막대 자르기 제약을 고려하여 유전자 알고리즘을 이용하여 5000개의 박스를 유효 시간 안에 컨테이너에 물건을 적재하는 모델을 제시 하였다.

(2) 3-차원 적재 문제

Tsai et al. (1993)은 한 대의 팔레트에 다양한 박스 크기를 고려한 3-차원 팔레트 적재 문제를 Mixed 0-1 정수 계획법 모델로 개발하였다. 이 모델의 해는 박스의 적재된 수와 위치를 나타낸다. 그러나 박스의 회전을 고려하지 못한 단점을 갖고 있다. Chen et al.(1995)는 다수의 컨테이너에 다양한 박스 크기를 고려한 3-차원 적재 문제를 역시 Mixed 0-1 정수 계획법 모델로 박스의 회전을 고려하여 연구 하였다. 그러나 이들 연구는 수리적 최적해를

보장해 주지만 박스의 개수가 커짐에 따라 현실적인 시간 안에 해를 구하기가 힘들다. 따라서 빠른 시간 안에 비교적 좋은 해를 제공하는 발견적 해법으로 Hodgson(1982)은 layered-palette-loading과 stacked-palette-loading의 개념을 최초로 소개했다. George et al.(1980)은 각 형태의 박스의 개수와 치수가 알려진 3-차원 적재 문제에 대한 발견적 기법을 제시 했다. 정창식 외 1(1993)은 3차원 적재 문제를 박스의 회전을 허용하고, 공간 적재, 공간분할, 공간 병합 3가지의 방법을 사용한 발견적 해법 제시 하였다. 하지만, 컨테이너의 공간 효율성에만 치중하여 컨테이너의 하중분포에 대한 고려가 제시 되지 않았다. 황학 외 2(1997)은 3-차원 적재 문제를 layer 개념을 이용한 발견적 기법 적재 방식으로 하중분포를 고르게 하고 마이크로 컴퓨터용 프로그램을 개발 하였다. Zhihong Jin et al.(2003)은 3-차원 적재 문제를 실제상황에 맞게 유효시간 안에 계산 하기 위한 타부서치를 이용한 물건의 위치 선정과 공간 분할을 위한 발견적 해법을 소개 하였다.

상기에서 살펴본 바와 같이 적재 문제에 관한 기존 연구들은 하나의 용기나 다수의 용기에 각각 사이즈가 명확한 박스를 용기에 가장 공간 효율성을 높여 적재하면서, 중량 제약, 중량균형화를 이루는 것을 목적으로 한다. 그러나 최적해법을 구하는데 있어서 용기와 물건의 수가 증가 함에 따라 유효 시간 안에 구하기가 힘들어져, 상대적으로 계산 속도가 빠르면서 최적해에 가까운 해를 찾을 수 있는 발견적 해법을 통한 다양한 모델을 제시하고 있다.

1.3 논문의 구성

본 논문의 구성을 살펴보면, 1장에서는 본 연구를 진행하게 된 배경과 연구의 목적에 관하여 언급하고, 기존에 수행된 관련 분야의 연구 내용들을 살펴보았다. 2장에서는 문제 해법 연구를 소개하는 것으로 3차원 적재 문제에 차량 경로 제약을 고려한 문제 설정과 수리적 모델을 제시 한다. 3장에서는 본 논문에서 다루고 있는 방문순서를 고려한 적재 문제에 관한 발견적 해법을 제시하고 하나의 예제를 수행하여 보여준다. 마지막으로 4장에서는 본 연구의 수행과정에서 얻은 성과와 차후의 연구방향에 대하여 언급하도록 한다.

제 2 장 모형의 수립

본 장에서는 앞에서 언급한 문헌 연구를 바탕으로 3차원 적재 문제에 차량 경로 제약을 고려하여, 서비스 시간 내에 최소의 비용으로 모든 물품을 목적지까지 수송하는 것을 목적으로 하는 모형을 세우는 것이다. 즉, 적재 문제에 있어 차량 경로 제약을 추가함에 있어 발생하는 상쇄관계를 최소화하는 모형이다. 하나의 출발점에서 다수의 목적지를 최소의 차량(또는 용기)으로 정해진 시간 내에 물품을 운송하는 것이다. 먼저 모형수립의 전제조건 및 가정들을 살펴보고, 모형의 변수와 모수, 계량적 모형을 설명한다. 그리고 수립된 모형의 특성에 대해 검토한 후, 모형의 타당성을 검증한다.

2.1 문제의 설정.

운송업체에서 효율적인 운송을 위해서 한 건 이상의 배송을 동일 차량에 배정하는 차량혼재가 발생한다. 따라서, 차량 방문 순서를 고려하여 물건을 적재하면 각 수요지에서 발생하는 재배치 작업의 시간을 줄이거나 제거 할 수 있다. 그러므로 출발지에서 물건을 적재하는 단계에서 차량의 운행경로와 일정계획을 고려하는 것이 중요하다.

방문순서를 고려한 적재문제를 해결하기 위한 계량적 모형을 수립하기 위해서는 몇 가지 필요한 가정과 전제조건이 있는데 이들을 살펴보면 다음과 같다.

2.2.1 기본 문제 정의

- ① 화물을 적재할 용기(컨테이너, 차량적재장소)는 직육면체의 형태를 가진다.
- ② 모든 적재할 화물은 직육면체의 형태를 가진다.
- ③ 화물에 대한 기본 정보(화주, 화물의 규격(가로, 세로, 높이), 도착지)는 미리 알고

있다고 가정한다.

- ④ 각 박스는 컨테이너 각 면에 수직 혹은 수평으로 적재되는 한 어떤 방향으로든 적재 가능하다.
- ⑤ 박스를 적재 할 때 기초가 되는 박스보다 위에 적재되는 박스가 클 수 없다.
- ⑥ 각 물품의 무게와 이익은 고려하지 않고 부피만 고려 한다.
- ⑦ 전체 경유지를 방문하는 시간에 제약이 있다.
- ⑧ 할당된 모든 경유지를 방문한 차량은 반드시 처음 출발지로 돌아온다.
- ⑨ 복수의 차량을 사용하며, 최대 가용 차량수가 정해져 있다.
- ⑩ 각 차량 별로 용량이 다르다.
- ⑪ 각 차량의 운행 거리에 비례하여 운행 비용이 증가한다.

2.2 수리적 모델

문제의 모형화에 앞서 모형에서 사용되는 파라미터를 정의하면 다음과 같다.

* *parameters*

Bin-packing parameters

m : 적재 대기 상태 *box*의 총 갯수

M : 임의의 큰 수

s, r : 제품 인덱스

L_k, W_k, H_k : 차량 k 의 컨테이너의 길이(X 축방향), 너비(Y 축방향), 높이(Z 축방향)

(l_{si}, w_{si}, h_{si}) : 지점 i 에 가는 *box* s 의 세 가지 치수($l_s \geq w_s \geq h_s$)

결정 변수

(x_{si}, y_{si}, z_{si}) : 지점 i 에 가는 *box* s 가 컨테이너에 적재되었을 때 전-좌-하(*front-left-bottom*) 모서리의 좌표

(l_{xs}, l_{ys}, l_{zs}) : 적재된 *box* s 의 치수 l_s 가 X - Y -, Z -축 중 어디에 평행한가를 나타내는 0-1변수.

이때 평행하면 1, 그렇지 않으면 0 $ex(0,1,0)$

(w_{xs}, w_{ys}, w_{zs}) : 적재된 $box\ s$ 의 치수 w_s 가 $X-Y, Z$ -축 중 어디에 평행한가를 나타내는 0-1변수.

이때 평행하면 1, 그렇지 않으면 0

(h_{xs}, h_{ys}, h_{zs}) : 적재된 $box\ s$ 의 치수 h_s 가 $X-Y, Z$ -축 중 어디에 평행한가를 나타내는 0-1변수.

이때 평행하면 1, 그렇지 않으면 0

U_{ks} : $box\ s$ 가 차량 k 의 컨테이너에 적재가 되었는지를 나타내는 변수. 적재 1, 아니면 0

L_{sr} : $box\ s$ 가 $box\ r$ 의 좌측에 있으면 1, 아니면 0

R_{sr} : $box\ s$ 가 $box\ r$ 의 우측에 있으면 1, 아니면 0

F_{sr} : $box\ s$ 가 $box\ r$ 의 앞측에 있으면 1, 아니면 0

B_{sr} : $box\ s$ 가 $box\ r$ 의 뒤측에 있으면 1, 아니면 0

A_{sr} : $box\ s$ 가 $box\ r$ 의 위측에 있으면 1, 아니면 0

G_{sr} : $box\ s$ 가 $box\ r$ 의 밑측에 있으면 1, 아니면 0

Routing parameters

$A = \{(i, j) : i, j \in N\}$ 도로구간의 집합.

n : depot을 제외한 지점수

i, j : 수요지 인덱스

O : depot 인덱스 ($O=0$)

C_{ijk} : 차량 k 가 수요지 i 에서 j 까지가는데 운행비용.

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, \text{ 만일 차량 } k \text{가 도로구간 } i \sim j \text{를 운행하면} \\ 0, \text{ 그렇지 않으면} \end{cases}$$

T : 차량의 가용가능시간

t_{ijk} : 차량 k 가 수요지 i 에서 j 까지가는데 소요시간 ($i, j = 1, \dots, n$).

$$Y_{ik} = \begin{cases} f, \text{ 만일 지점 } i \text{에 차량 } k \text{가 } f \text{번째로 방문한다면} \\ 0, \text{ 그렇지 않으면} \end{cases}$$

D_i : 수요지 i 의 총 제품 부피

$$P_{isk} = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ 만일 지점 } i \text{에 } k \text{차량으로 제품 } s \text{를 공급하면} \\ 0, \text{ 그렇지 않으면} \end{array} \right\}$$

앞서 정의한 파라미터들을 이용하여 문제를 모형화하면 다음과 같다.

$$\text{Min } \sum_{k=1}^e \sum_i \sum_j C_{ijk} \cdot X_{ijk} \quad \dots\dots(1)$$

Subject to

$$x_s + l_s \times l_{xs} + w_s \times w_{xs} + h_s \times h_{xs} \leq x_r + (1 - L_{sr})M \quad \text{for all } s, r \quad s < r \quad \dots\dots(2)$$

$$x_r + l_r \times l_{xr} + w_r \times w_{xr} + h_r \times h_{xr} \leq x_s + (1 - R_{sr})M \quad \text{for all } s, r \quad s < r \quad \dots\dots(3)$$

$$y_s + w_s \times w_{ys} + l_s \times l_{ys} + h_s \times h_{ys} \leq y_r + (1 - F_{sr})M \quad \text{for all } s, r \quad s < r \quad \dots\dots(4)$$

$$y_r + w_r \times w_{yr} + l_r \times l_{yr} + h_r \times h_{yr} \leq y_s + (1 - B_{sr})M \quad \text{for all } s, r \quad s < r \quad \dots\dots(5)$$

$$z_s + h_s \times h_{zs} + w_s \times w_{zs} + l_s \times l_{zs} \leq z_r + (1 - G_{sr})M \quad \text{for all } s, r \quad s < r \quad \dots\dots(6)$$

$$z_r + h_r \times h_{zr} + w_r \times w_{zr} + l_r \times l_{zr} \leq z_i + (1 - A_{sr})M \quad \text{for all } s, r \quad s < r \quad \dots\dots(7)$$

$$L_{sr} + R_{sr} + F_{sr} + B_{sr} + G_{sr} + A_{sr} \geq 1 \quad \text{for all } s, r \quad s < r \quad \dots\dots(8)$$

$$x_s + l_s \times l_{xs} + w_s \times w_{xs} + h_s \times h_{xs} \leq L_k \times U_{sk} \quad \text{for all } s, k \quad \dots\dots(9)$$

$$y_s + w_s \times w_{ys} + l_s \times l_{ys} + h_s \times h_{ys} \leq W_k \times U_{sk} \quad \text{for all } s, k \quad \dots\dots(10)$$

$$z_s + h_s \times h_{zs} + w_s \times w_{zs} + l_s \times l_{zs} \leq H_k \times U_{sk} \quad \text{for all } s, k \quad \dots\dots(11)$$

$$\sum_{s=1}^m (l_s \times w_s \times h_s) \times U_{sk} \leq L_k \times W_k \times H_k \quad \text{for all } s, k \quad \dots\dots(12)$$

$$x_{si}, y_{si}, z_{si} \geq 0 \quad \text{for all } s$$

$$l_{xs}, l_{ys}, l_{zs}, w_{xs}, w_{ys}, w_{zs}, h_{xs}, h_{ys}, h_{zs}, L_{sr}, R_{sr}, F_{sr}, B_{sr}, G_{sr}, A_{sr}, U_{sk} \quad 0 \text{ or } 1$$

위치 제약

$$\begin{cases} Y_{ik} - Y_{jk} > 0 \text{ 이면, } \text{Max}[x_{sj} - x_{ri}, z_{sj} - z_{ri}] > 0 \\ Y_{ik} - Y_{jk} < 0 \text{ 이면, } \text{Max}[x_{ri} - x_{sj}, z_{ri} - z_{sj}] > 0 \end{cases}$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ijk} = 1 \quad (j = 1, \dots, n) \quad \dots\dots(13)$$

$$\sum_{i \in N} X_{ipk} - \sum_{j \in N} X_{pj k} = 0 \quad (p \in n, 1 \leq k \leq e) \quad \dots\dots(14)$$

$$\sum_{k=1}^e \sum_{s=1}^m (l_s \times w_s \times h_s) \times P_{isk} = D_i \quad (p \in n) \quad \dots\dots(15)$$

$$** \sum_{s=1}^m (l_s \times w_s \times h_s) \times U_{sk} - (l_s \times w_s \times h_s) \times U_{sk} \times \sum_{i \in N} X_{ipk} \leq 0 \quad (i \in P, 1 \leq k \leq e)$$

$$\sum_{i,j} t_{ijk} \cdot X_{ijk} \leq T \quad \dots\dots(16)$$

$$Y_i - Y_j + n \times X_{ijk} \leq n - 1 \quad (i, j \in n, 1 \leq k \leq e) \quad \dots\dots(17)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad (i, j \in n, 1 \leq k \leq e)$$

본 모형의 목적함수인 (1)식은 차량 k가 i위치에서 j위치로 이동하는데 드는 비용을 이용하여 각 수요지의 수송요구를 처리하는데 필요한 비용의 합인 총비용을 최소화 하는 것이다. 즉, 각수요지에 할당된 제품을 최소의 비용으로 모두 수송하는 것에 목적을 두는 것이다.

다음으로 제약식들을 살펴보면, 먼저 (2)~(12)번까지의 제약식은 차량에 물품을 적재할 때 필요한 적재 제약 조건들이다. 그리고 (13)~(17)번은 차량의 운행상의 제약을 나타내고 있다. 자세히 설명하면, (2)~(7)번 제약식들은 박스들이 차량용기(컨테이너) 안에서 서로 겹치지 않아야 함을 나타내는 제약식들이다. (8)번 제약식은 박스간의 겹침에 대한 제약은 대상 박스들이 컨테이너에 적재된다는 전제하에 성립한다는 제약조건을 나타낸다. (9)~(11)번은 박스가 컨테이너에 놓여진 상태에서 세가지 치수가 대응하는 컨테이너 치수보다 클 수가 없다는 것을 나타낸다. (12)번 제약식은 적재되는 박스들의 부피의 총합은 차량용기(컨테이너)의 부피보다 클 수가 없다는 것을 나타낸다. 다음으로 차량운행에 관한 제약식인 (13)번 제약식은 동일 차량에 대한 중복방문 불가 규칙을 나타낸다. (14)번은 경로의 연속성 규칙을 나타낸다. (15)번은 지점에 배달된 제품의 수량은 수요 수량과 일치 해야 한다는 규칙을 나타낸다. (16)번은 전체 차량의 가용 시간제약을 나타낸다. (17)번 제약식은 본점 불포함

경로 배제규칙에 따른 규칙을 나타낸다.

2.3 모형의 특성

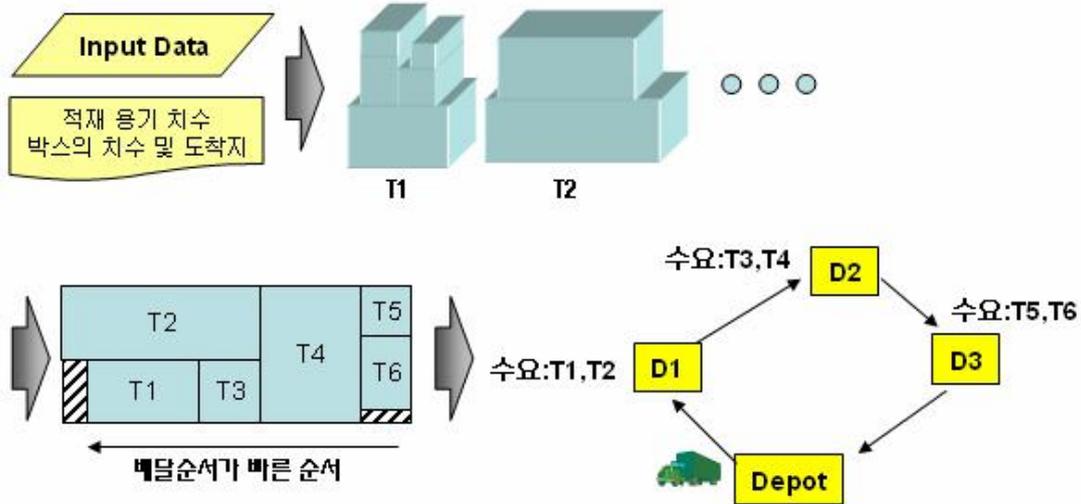
본 연구에서 수립한 모형은 기존의 연구들에서 나타나는 0-1 정수 계획 적재 모형과 비슷한 유형을 가진다. 그러나 자세히 살펴보면, 0-1 정수 계획 적재 문제와는 몇 가지 점에서 차이가 있다. 가장 큰 차이점은 적재 효율성을 최대로 높이는 적재 패턴으로 적재되지 않는다는 점이다. 여기에서는 각 물품이 도착지 정보를 가지고 있어서 차량의 방문순서에 따라 물품이 적재되는 패턴이 정해진다. 또한, 적재문제와는 달리 차량 경로를 고려하고 있으며, 각 차량을 이용할 수 있는 가용 시간 제약이 존재한다. 따라서 적재문제에서는 나타나지 않는 방문제약과 시간제약이 존재한다. 이와 같이 본 연구에서 수립한 모형은 기존의 적재 문세로는 표현 할 수 없는 각 물품의 목적지 방문 순서를 고려한 적재패턴을 수립하는 과정을 적절히 나타내었다.

제 3 장 발견적 해법 및 적용

본 장에서는 앞서 제시 했던 수리적 모형이 적재될 물품의 수와 방문하는 수요지 수가 증가할수록 해를 찾기가 거의 불가능하거나, 유효시간 내에 실제 업무에 이용할 수 있는 해를 도출하기가 어렵다. 따라서 비교적 최적해에 가까우면서 유효시간 내에 해를 도출할 수 있는 탐색적 해법을 제안한다. 그리고 제시한 해법의 실효성을 검증하기 위하여 수리적 모델과 비교 분석하여 수리적 모델과 거의 유사한 해를 구하면서, 유효시간 내에 계산이 가능하다는 것을 보여준다.

3.1 발견적 해법

컨테이너 적재 문제에 관한 기존의 연구 중 Gehring과 Bortfeldt(1997)는 컨테이너에 다양한 크기의 박스를 적재하는 발견적 기법을 제시한 바 있다. 본 연구에서는 위 문헌에서 제시된 방법론을 참고로 하여 보다 개선된 또한, 차량의 방문 순서를 고려한 적재 방안을 제시한다. 본 연구에서 제시하는 적재 방안은 <그림1>에서 나타나 있는 것과 같이 기본적으로 제품의 도착지(수요지) 정보와 치수 그리고 적재 용기(컨테이너)의 치수 데이터를 입력 받은 다음 도착지 별 제품 세트(Tower)를 구성하고, 방문 순서를 고려하면서 생성된 제품 세트를 컨테이너에 적재한다. 그리고 용적률을 높이기 위해 이미 적재 완료된 제품 세트를 재구성하고, 차량경로의 최적을 위해 세트 제품의 재배치 작업을 반복 수행하는 방식을 따른다. 컨테이너 적재 문제의 발견적 해법을 개발하기 위해 사용된 기본 사항은 다음과 같다.



<그림 1: 적재방안의 발견적 해법 순서>

3.1.1 Tower의 정의

타워는 본 연구에서 개발하려는 발견적 해법에 들어가는 용어로서 같은 수요지를 가진 박스 중 부피가 큰 박스들 중에서 기초 박스를 만들고, 기초가 되는 박스 위에 탑의 형태로 쌓아 올린 것을 말한다. 타워의 구체적인 조건은 아래와 같다.

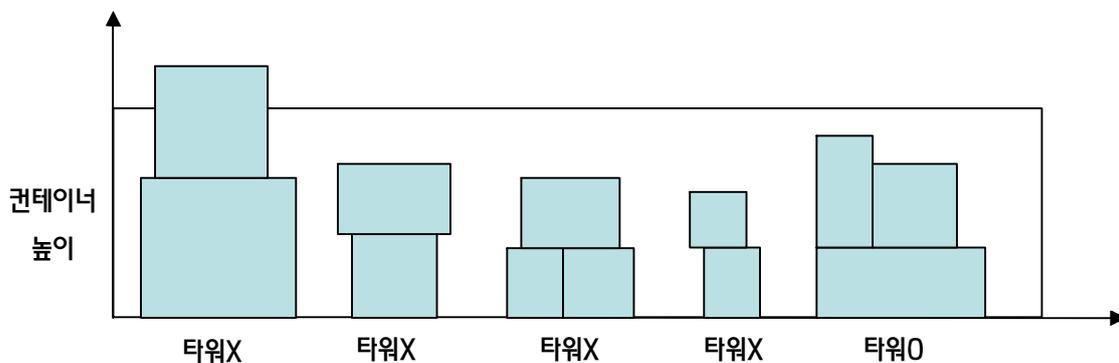
- ① 타워를 구성하는 각 박스의 도착지는 모두 같다.
- ② 타워의 기초 박스는 컨테이너의 바닥과 닿아 있어야 되며, 컨테이너의 길이 방향이나, 너비방향으로 어느 한쪽 면이 평행 하여야 한다.
- ③ 컨테이너와 닿아 있는 기초 박스의 길이와 너비는 컨테이너의 길이와 너비를 초과하지 않아야 한다.
- ④ 기초 박스의 길이와 너비는 타워의 길이와 너비가 되고 타워의 높이는 쌓아 올린 박스의 모든 높이들의 합과 같으며, 모든 타워의 높이는 컨테이너의 높이를 초과 해

서는 안 된다.

- ⑤ 기초 박스 위에 적재되는 박스는 기초 박스 면과 마주하는 면이 기초 박스 면의 면적을 초과 해서는 안 된다.
- ⑥ 기초 박스 위에 적재되는 박스는 다른 타워의 기초 박스와 겹쳐서 적재하는 것은 허용하지 않는다.
- ⑦ 기초 박스 위에 적재되는 박스는 기초 박스 면과 마주하는 면이 기초 박스 면과 엇갈려 쌓아지는 것을 허용 하지 않는다.



<②,③ 설명>



<④,⑤,⑥,⑦ 설명>

<그림 2: 타워의 조건>

타워는 아래의 <그림3>과 같이 타워 기초 박스로 타워의 너비, 길이 부분을 결정한 다음에 타워 기초 박스 위에 처음으로 적재된 박스로부터 3가지의 공간이 분할된다. 박스@의 앞쪽 부분을 Front 공간, 상단 부분을 Up 공간, 오른쪽 부분을 Side 공간이라고 한다. 여기서 사용되는 용어와 부호는 아래와 같다.

$Tset_{ai}$: i 지점에가는 인덱스 a 인 Tower

Front space : Tower 공간 적재시 분할되는 공간 중에서 앞쪽 부분

Up space : Tower 공간 적재시 분할되는 공간 중에서 상단 부분

Side space : Tower 공간 적재시 분할되는 공간 중에서 오른쪽 부분

TB_{aw} : $Tset_{ai}$ 의 타워 기초 박스의 너비

TB_{al} : $Tset_{ai}$ 의 타워 기초 박스의 길이

TB_{ah} : $Tset_{ai}$ 의 타워 기초 박스의 높이

Front space W : TB_{aw} - (박스@의 너비)

Front space L : TB_{al}

Front space H : $H_k - TB_{ah}$

Up space W : 박스@의 너비

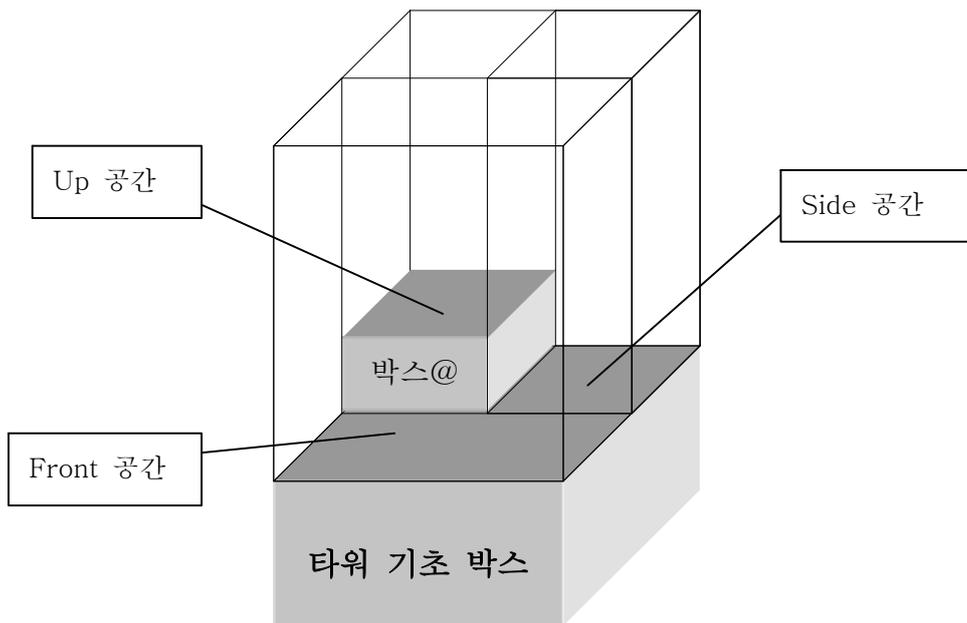
Up space L : 박스@의 길이

Up space H : $H_k - (TB_{ah} + \text{박스@의 높이})$

Side space W : 박스@의 너비

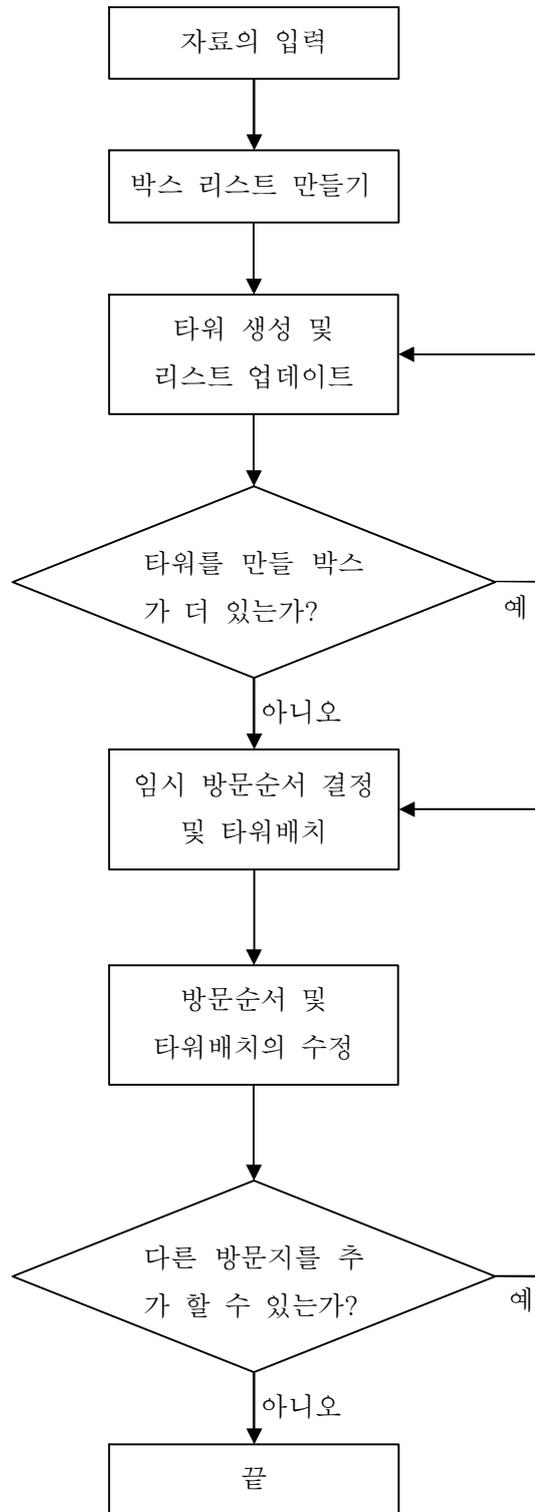
Side space L : TB_{al} - 박스@의 길이

Side space H : $H_k - TB_{ah}$



<그림 3: 타워의 적재 구조>

3.1.2 발견적 기법의 개괄적 흐름



<순서도 1: 발견적 해법의 순서도>

발견적 기법의 개괄적 흐름을 살펴보면, <순서도1>과 같이 출발지와 각 도착지간의 이동 시간과 차량 용기의 정보 및 적재할 각 박스들의 자료를 입력 받은 후 박스들의 부피를 계산하고, 각 박스들을 수요지 별로 분류 한다. 수요지 별로 분류된 박스들을 이용해 타워를 생성하는데, 이 때 같은 수요지에 포함된 박스 중에서 가장 큰 부피를 가진 박스를 기초 박스로 지정하고 타워를 생성해 나간다. 모든 타워의 생성 후 일정한 규칙에 따라 용기에 타워를 배치한다. 그리고 임시로 완성된 타워의 배치 및 방문순서를 수정하는 형식으로 비용을 최소화 시킨다.

3.1.3 발견적 기법의 상세한 흐름

본 연구에서 제시하는 발견적 해법은 크게 4가지로 나뉘어 진다. 첫 번째는 각 물품들을 수요지 별로 분류 및 부피 순서대로 리스트를 만드는 것이다. 두 번째는 수요지 별로 분류된 각 물품들을 본 연구에서 제시하는 타워 형태의 제품 그룹을 만드는 것이다. 세 번째는 일정한 규칙에 따라 방문순서를 임시로 정하면서 각 수요지에 배정 받은 타워를 각 차량에 배치 하는 것이다. 마지막을 임시로 방문순서와 배치된 타워를 다시 수정 재배치 하면서 최소 비용을 구하는 것으로 본 연구에서 제시 하는 발견적 해법의 과정은 끝이 난다. 이와 같은 발견적 해법을 단계별로 자세히 표현하면 다음과 같다.

[Step1] - 리스트 작성 단계

(1) 각 물품의 정보를 수요지 별로 그룹을 짓고 각 물품의 부피가 큰 순서대로 리스트를 작성한다.

(2) [Step2] 단계로 이동한다.

타워 생성시 같은 수요지의 물품들로만 타워를 생성하기 위하여 수요지 별로 그룹 짓고, 부피가 가장 큰 박스를 타워 기초 박스로 설정하기 때문에 부피 순으로 정렬을 한다.

[Step2] - 타워의 생성 단계

- (1) 리스트에서 부피가 가장 큰 물품을 타워 기초 박스로 설정한다.
- (2) 타워 기초 박스의 3가지 방향 중에서 가장 넓은 면이 바닥으로 가게끔 하고 리스트에 정렬된 순서대로 타워 기초 박스 위에 박스를 적재한다.
- (3) 기초 박스 다음으로 싣는 물품을 시작으로 Front, Side, Up의 3가지 공간의 분할과 적재를 반복적으로 실행하여 타워를 쌓는다.
- (4) 하나의 타워가 완성되면, 그 타워를 $Tset_{ai}$ 라고 결정한다.
- (5) 타워 생성시 사용된 각 물품은 리스트에서 제거한다.
- (6) 리스트에 정렬된 모든 물품이 제거 될 때까지 (1)~(5) 순서를 반복 수행 한다.
- (7) [Step3] 단계로 이동한다.

타워의 기초 박스의 설정은 타워의 전체 치수를 결정하는 중요한 요소이다. 타워의 높이는 용기의 높이와 같지만, 타워의 너비, 길이. 부분은 기초 타워 박스의 너비, 길이 부분에 위해서 결정되기 때문이다. 타워의 기초 박스의 선정은 리스트를 체크하여 같은 수요지 그룹 내에서 부피가 가장 큰 박스를 타워 기초 박스로 설정한다. 그리고 타워 기초 박스 위에 박스를 적재할 때에는 기본적으로 3가지 면 중에서 면적이 넓은 면을 바닥으로 하여 적재하는 것을 기본으로 한다. 또한, 타워 기초 박스 이후에 쌓는 모든 박스들은 적재될 때마다 공간분할을 실행한다. 공간 분할은 Front, Side, Up으로 나뉘며, 공간 분할 되었을 때 적재 순서는 Front→Side→Up의 순서로 적재한다.

[Step3] - 방문순서 결정 및 타워의 배치 단계

- (1) 지도(좌표평면)에 출발지 창고를 포함한 모든 경유지를 표시한다.
- (2) 출발지 창고에서 사방의 경유지로 선을 긋는다.
- (3) 임의의 경유지를 선택하여 시계방향으로 경유지를 포함해 나간다.
- (4) 경유지 포함 순서대로 타워 배치 규칙에 따라 타워를 용기에 적재한다.
- (5) 모든 타워가 적재 완료될 때까지 (3), (4) 과정을 반복한다.

타워를 용기 내에 배치하기 위해서는 사전 작업이 필요한데, 그 작업은 모든 타워를 조사하여 용기 내 한가지 방향으로만 적재되는 타워를 분류하는 것이다. 이는 타워가 2가지 방향으로 적재될 수 있는데 타워의 너비와 길이 방향의 치수 중에서 하나라도 용기의 너비 길이보다 크면 한 방향으로만 적재가 가능하고, 이는 나중에 타워 배치 단계에서 방향을 고려할 필요가 없기 때문이다. 그리고 용기의 길이 방향으로만 적재가 가능한 타워들 중에서 긴 길이로 인해서 타워의 배치가 다시 재배치 되어야 할 경우도 생기기 때문이다.

타워의 배치 규칙은 첫 번째, 용기의 왼쪽 모서리부터 크기가 큰 타워로부터 적재를 시작한다. 두 번째, 타워의 너비치수와 길이치수 중 큰 치수 쪽을 용기의 너비 길이와 평행하여 적재하는 것을 기본으로 한다. 세 번째, 타워의 우선순위가 같은 타워들의 적재 방향은 각 타워의 너비치수와 길이치수를 조합하여 용기의 너비치수와 가장 근접한 조합으로 타워를 배치할 수 있는 방향으로 결정한다. 네 번째, 타워 적재 시 용기의 길이 방향으로 가장 안쪽으로 들어간 부분의 너비와 적재할 타워들을 치수를 비교하여 적재한다. 비교한 치수가 적재 불가능하면 다음으로 길이 방향이 긴 너비를 다시 비교하고, 앞서 비교한 불용공간이 붙어있는 경우는 공간을 합쳐서 비교하여 타워를 적재한다. 다섯 번째는 타워의 다단 적재로서 이전 수요지의 타워의 적재가 완료되고, 배치된 타워 중에서 가장 자리에 위치한 타워들의 적재 공간에 다음 수요지에 포함된 타워가 적재 가능 하면 다단 타워의 다단 적재를 실행한다. 이는 공간의 효율성을 더욱더 높여 준다. 마지막으로 사전 작업으로 분류해 놓은

타워들이 포함된 수요지는 먼저 분류된 타워를 배치하여 보고 배치가 불가능 할 경우는 앞서 배치된 타워보다 우선으로 배치하고 다시 타워를 재배치하는 작업을 수행한다.

3.2 예제의 수행

<표 1: 물품 정보> (단위:mm)

물품번호	수요지	부피	물품번호	수요지	부피
1	4	8206308	26	3	39386352
2	4	4848272	27	3	229228460
3	4	80236719	28	2	53465328
4	4	243801663	29	1	6731340
5	4	226190250	30	0	6238202
6	3	7783200	31	0	243801663
7	3	39386352	32	1	226190250
8	3	165390557	33	2	243801663
9	2	39386352	34	2	5420100
10	1	29863416	35	3	39386352
11	1	149666796	36	4	165390557
12	0	202360095	37	4	5554983
13	0	269164940	38	4	4959630
14	0	39386352	39	3	8109096
15	1	80236719	40	3	243801663
16	1	57623280	41	2	8206308
17	1	8109096	42	2	269164940
18	2	226190250	43	1	3032172
19	2	39386352	44	1	4959630
20	2	8206308	45	1	80236719
21	2	6731340	46	0	3032172
22	3	53465328	47	0	4959630
23	3	5420040	48	0	5420040
24	4	3032172	49	0	53465328
25	4	27872797	50	0	154030149

본 논문에서는 임의로 출발지(Depot) 1곳과 수요지 5곳을 생성하였고, 각기 다른 치수와

수요지 정보를 가지는 50개의 물품을 임의로 생성하였다. 수요지는 임의로 1,2,3,4,5의 번호를 부여하여 구분하였다. 출발지 1곳과 수요지 5곳은 각각에 이동하는데 걸리는 시간으로 나타내었다. 각 물품은 물품번호로 구분하고, 수요지 정보와 함께 물품의 치수 및 부피의 정보를 가지고 있다. 그리고 모든 차량의 용기의 용량은 동일하며, 용기의 치수는 너비가 2350(mm), 길이가 12035(mm) 높이가 2394(mm)이다. 자세한 정보는 <표1>, <표2>를 참조한다.

<표 2: 지점 간 이동시간>

수요지	Depot	1	2	3	4	5
Depot	0	82	50	45	18	50
1	82	0	52	241	148	32
2	50	52	0	125	128	100
3	45	241	125	0	45	185
4	18	148	128	45	0	68
5	50	32	100	185	68	0

[Step1] - 리스트 작성 단계

x 값	y 값	z 값	수요지	부피
647	682	610	1	269164940
553	659	669	1	243801663
595	713	477	1	202360095
483	663	481	1	154030149
348	372	413	1	53465328
296	402	331	1	39386352
223	197	142	1	6238202
188	155	186	1	5420040
157	234	186	1	49596
209	124	117	1	3032172
585	703	550	2	226190250
542	522	529	2	149666796
391	453	453	2	80236719

<표 3: 리스트 작성 예>

기본적인 수요지 거리 자료의 입력과 정해진 규칙에 따라 입력된 물품의 정보를 정렬한

것을 <표3>, <표4>와 같이 나타내었다.

[Step2] - 타워의 생성 단계

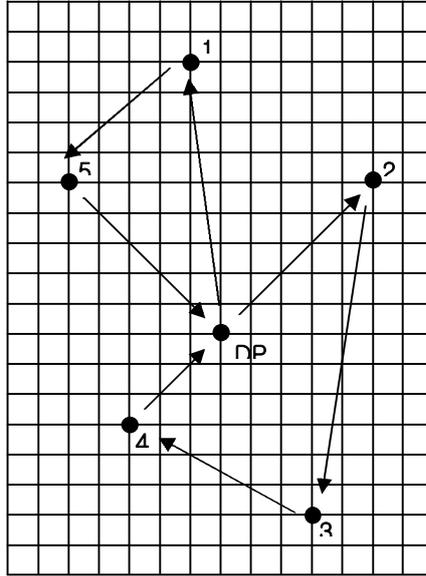
앞서 작성한 리스트를 참고하여, 타워기초박스를 설정하고 부피 순으로 타워의 공간을 적재해 나간다. 그리고 박스를 적재 할 때마다 공간 분할 단계를 거치고, 분할된 공간 Front, Side, Up의 공간을 분석하여, Front, Side, Up의 순서로 공간을 채워 나간다. 아래의 표는 타워기초박스의 설정과 타워 내 적재 패턴의 예를 나타내고 있다.

Tset10	너비	길이	높이	현재높이	가능높이
기초 타워	647	682	610	610	1784
1 층박스	553	669	659	1269	1125
1 층 up	553	669	1125		
1 층 front	94	669	1784		
1 층 side	459	13	1784		
1 층박스 up 적재박스	477	595	713	1982	412
1 층박스 up, 적재박스 front	76	669	1269		
1 층박스 up, 적재박스 side	477	74	1269		
1 층박스 up, 적재박스 up	477	595	412		
1 층박스 up, 적재박스 up, 적재박스	372	413	348	2330	64
Tset20					
기초타워	483	663	481	481	1913
1 층박스	331	402	296	777	1617
1 층 up	331	402	1617		
1 층 front	152	663	1913		
1 층 side	483	261	1913		
1 층박스 front, 적재박스	142	197	223	704	1690
1 층박스 front, 적재박스, front	10	663	1913		
1 층박스 front, 적재박스, side	152	466	1913		
1 층박스 front, 적재박스, up	142	197	1690		
1 층박스 front, 적재박스, side 적재박스	135	157	234	715	1679

<표 4: 타워 내 적재 패턴 예>

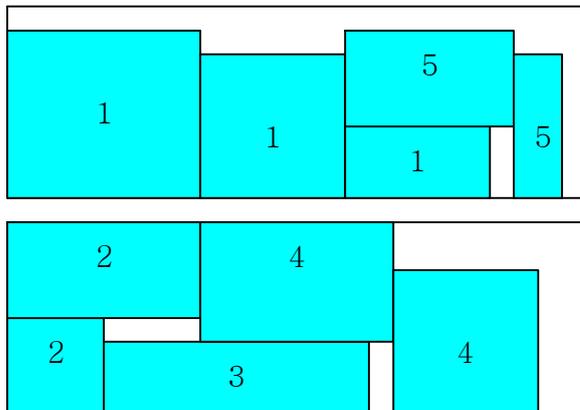
[Step3] - 방문순서 결정 및 타워의 배치

출발지에서 가장 시간이 많이 걸리는 지점을 찾고 그 지점에서 가까운 지점을 찾아 방문순서를 더해 나간다. 각 지점을 추가해 나갈 때에는 소요되는 각 지점간 이동시간을 더하고, 수요지에 포함된 타워를 용기에 배치하면 아래의 그림과 같이 방문순서가 정해지고, 방문순서에 따라 용기에 타워를 배치하게 된다.



<그림 4: 방문순서의 표현>

탐색적 모형을 적용하여 해를 구한 결과 차량1번은 수요지 1,5를 거쳐 다시 돌아오고 차량 2번은 수요지 2,3,4를 거쳐 돌아오기 때문에 차량1번과 2번의 타워배치를 <그림5>와 같이 하였다.



차량 1번 적재순서
<방문순서: 1-5>

차량 2번 적재순서
<방문순서: 2-3-4>

<그림 5: 용기 내 타워 배치도>

제 4 장 결론 및 향후 연구방향

적재문제는 1차원, 2차원, 3차원 적재문제로 보통 나뉘어지며, 적재패턴을 연구하여 최소의 적재용기를 사용하는 것에 목적을 두고 연구가 이루어져 왔다. 그리고 기본적으로 적재문제들은 문제의 복잡성으로 인해 적재 물품의 수와 용기가 많아질수록 계산 속도가 유효시간 내에 해를 얻을 수 없는 경우가 많아 발견적 해법에 많은 연구가 있어 왔다. 그러나 현재의 수송 패턴을 보면, 기존의 연구들을 실제로 적용하기에 어려운 부분이 있는데, 바로 복수 목적지를 가진 물품들이 한 용기에 적재되는 경우이다. 기존의 연구는 최적 적재에는 좋은 해를 구할지 모르나, 이와 같은 상황에서는 물품의 재배치까지 고려하지 못한다. 따라서 본 연구에서는 같은 용기 내의 각기 다른 목적지를 가진 물품들을 용기 내의 공간을 최대한 활용하면서, 각 목적지마다 물품의 재배치를 최소화 시키는 적재 패턴을 연구하였다. 기존의 적재 문제들처럼 본 연구의 계량적 모델은 문제의 복잡성으로 유효 시간 내에 해를 얻기가 어려워 발견적 해법을 이용하여 빠른 시간 내에 좋은 해를 구할 수 있는 해법을 제시 하였다.

본 연구를 수행한 결과로 얻어진 주요한 성과들을 살펴보면 첫째, 기존의 적재문제에서 물품의 방문순서를 고려하여 적재된 물품의 재배치 비용을 감소시켜 실제 적용할 수 있는 적재 작업이 가능한 방법 및 해법에 대한 연구를 시도하였다. 둘째, 본 연구에서 제시한 계량적 모델을 유효시간 내에 좋은 해를 얻기 위한 발견적 해법을 제시하였다.

본 연구에 이어 차후 연구과제로써는 좀 더 사실적이고 다양한 요소를 포함하여 다양한 용기와 다양한 모양의 물품을 고려하여 시도해 볼 필요가 있다고 생각된다.

참고 문헌

A. Bortfeldt, “A genetic algorithm for the two-dimensional strip packing problem with rectangular pieces”, European Journal of Operational Research, Vol.172 (2006)

Chen. C. S, Lee. S. M, Shen. Q. S, “An analytical model for the container loading problem”, European Journal of Operational Research, Vol. 80, (1995)

Clarke. G. and J. W. Wright, “Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points”, Operation Research, Vol. 12, (1964)

Gilmore, P. C. and R. E. Gomory, “Multistage Cutting Stock Problem for Two and More Dimensions”, Operations Research, Vol. 13, No. 1, (1965)

H. Gehring, A. Bortfeldt, “A Genetic Algorithm for Solving the Container Loading Problem”, Int. Trans. Opl Res. Vol. 4, No. 5/6, (1997)

George, J. A. and D. F. Robinson, “A Heuristic for Packing boxes into a Container”, Computer and Operations Research, Vol. 7, No. 3, (1980)

Golden Bruce L., “Approaches to the Cutting Stock Problem”, AIIE Transactions, (1976)

Ronald H. Ballou. 2000. 4th edition “Business Logistics Management”

Thom J. Hodhson, "A Combined Approach to the Pallet Loading Problem", IIE Transactions, Vol. 14, No. 3, (1982)

Tsai. R. D, Malstrom. E. M, Kuo. W "Three Dimensional Palletization of Mixed box Size", IIE Transacions, Vol. 25, NO. 4, (1993)

Zhihong JIN, Takahiro ITO, Katsuhisa OHNO "The Three-Dimensional Bin Packing Problem and Its Practical Algorithm" JSME International Journal, Vol. 46, No. 1, (2003)

박영태, 강승우 "국내외 배차계획시스템의 연구 현황 및 추후 과제에 관한 연구", 한국유통정보학회지, 제7권 제1호, (2004)

김홍배, 노재정, 강주선 "셋트 제품의 컨테이너 적재 알고리즘 개발에 관한 연구", 경성대학교 논문집 Vol. 19, No.1 (1998)

신해웅, 강맹규 "분할배달이 가능한 차량경로문제의 최적해법", 경영과학, 제 6권 제 1호 (1989), pp.29-40

정창식, 강맹규 "삼차원 혼합 적재 문제에 대한 발견적 해법", 생산공학논문집, vol.2. No.1 (1993), pp.47-54

황학, 이관재, 선지웅 "3차원 물품 적재에 관한 마이크로 컴퓨터용 프로그램 개발", 대한산업공학회, Vol. 23, No.1, (1997) pp.55-76