

우선순위를 고려한 컨테이너 3차원 적재문제

배민주* · 최세경** · 김환성***

*, **한국해양대학교 대학원 물류시스템공학과, ***한국해양대학교 물류시스템공학과

Three-Dimensional Container Packing Problem with Freight Priority

Min-Ju Bae* · Se-Kyoung Choi* · Hwan-Seong Kim**

*, **Graduate school Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

***Dept. of Logistics Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 본 논문에서는 다양한 종류와 다양한 크기의 화물에 대해 3차원 적재 방법으로서 휴리스틱 기법을 이용한 해법을 제안하였다. 먼저, 컨테이너 비용을 적재비용, 수송비용 및 처리비용의 합으로 나타내었으며, 화물 간 우선순위 및 화물 내에서의 개수 간 우선순위를 적용하였다. 주어진 화물을 적재 공간 및 양을 만족하면서 전체 컨테이너 비용을 최소화하는 컨테이너 종류 및 개수의 순위를 산출하였으며, 이때 컨테이너 개수는 사용자의 입장에서 1~10순위 중 하나를 선택할 수 있도록 하였다. 적재 시 화물의 팔레타이저 및 디팔레타이저로서 컨테이너 내의 공간 이용률을 극대화시켰다. 마지막으로 컨테이너의 무게 균등화를 고려하여 취급중의 화물의 무게 불균등으로 인한 화물의 손상을 방지하였다. 제안된 휴리스틱 기법을 프로그램 언어를 이용한 시뮬레이션을 통해 그 유효성을 증명하였다.

핵심어 : 컨테이너 3차원 적재, 팔레타이저, 디팔레타이저, 적재 우선순위, 하중 균등화 문제, 발견적 기법, 시뮬레이션

Abstract : In this paper, we propose a new heuristic solution for 3D container packing problem for the variable sizes and types of freight. First of all, we consider the total cost of container charge i.e., handling, loading and transportation, where each freight will be specifically identified. The types of containers and its number to be loaded can be selected automatically by minimizing the total cost of container charge. Maximization of loading space can be achieved efficiently by operating the palletizing and/or depalletizing of freight. By considering these factors we can determine the position of freight in the container and the loading sequence to be packing into the container. In container packing simulation, we can verify that the proposed heuristic algorithm indicates more efficiency space utilization and shows the possibility of using on commercial business.

Key words : 3D Container Packing Problem, Palletizer, Depalletizer, Loading Priority, Loading Balance Problem, Heuristic Approach

1. 서 론

최근 화물 수송에 있어 컨테이너는 육상, 해상 및 항공 등의 광범위한 수송경로에서 필수적으로 이용되고 있다. 또한, 컨테이너는 보관, 하역 및 유통 등의 물류관리차원에서 그 유용성을 인정받고 있다(임, 1998).

특히, 수출·입 화물의 수송에 있어 컨테이너는 취급이 용이한 중요 수송단위이므로 효율적 활용방안에 대한 연구가 다방면에서 이루어지고 있다. 수출 컨테이너에 다품종 소량 화물을 적재하여 운반하는 경우, 몇 종류의 화물을 어떻게 컨테이너 내에 적재할 것인가에 따라 컨테이너의 유효 공간 활용을 최대화시킬 수 있으며, 이는 직접적으로 컨테이너 운반비용을 최소화하는 것으로 직결된다.

또한, 각 컨테이너에 어떤 순서로 다품종 화물을 적재할 것인가에 따라 컨테이너의 무게 분배가 이루어지며, 이는 화물 취급 안정성과 깊이 관련되어 배송 중의 화물의 손상을 유발

시킬 수 있으므로 중요시해야 하는 항목이다(이와신, 2003).

현재까지의 컨테이너 화물적재에 관한 연구로서는 주로 Bin packing 문제를 2차원 및 3차원에서 다루었으나, 3차원 컨테이너 내 적재에는 크게 유용하지 못한 점이 많다. 이들 중에서 황등(1997)은 3차원 적재문제를 컴퓨터에 기초하여 쉽게 다룰 수 있는 프로그램 개발을 시도하였으며, Bortfeldt and Gehring(2001)은 상이한 크기의 박스를 하나의 컨테이너에 적재하는 문제를 Hybrid Genetic Algorithm으로 표현하였다.

또한, 최근에는 3차원 적재문제에 관련된 연구들이 컨테이너 또는 Bin에 화물을 적재하는 것을 대상으로 하여 탐색적 기법을 이용해 왔으며, Lodi et al.(2002)등은 3차원 적재문제를 타부서치 프레임에 휴리스틱기법을 적용한 새로운 알고리즘을 고안하였으며, Martello et al.(2000)등은 3차원 적재문제로의 접근에 정확한 탐색을 시도하였다. 그러나 이들 연구들은 실제 적재문제와는 다소 상이한 내용으로서 이론적인 측면에 치우치는 경우가 많았다. 실제, 현장에서 컨테이너 내에 화물을 적재하는 경우는 팔

* 대표저자 : 배민주(정회원), kaminadia@bada.hhu.ac.kr 011)9095-5181

** i3058@hotmail.com 017)595-3058

*** 중신회원, kimhs@hhu.ac.kr 051)410-4334

레트화 된 제품과 비팔레트화 된 제품으로 분류하여 취급하고 있으며, 적재 효율을 높이기 위해서 대부분 팔레트화 제품을 디팔레타이저화한 이후에 취급하고 있다.

따라서 본 연구에서도 종래의 연구 결과에 전체 비용을 최소화시키는 문제와 아울러 팔레타이저 및 디팔레타이저화를 병행함으로써 컨테이너내의 적재 효율을 최대화 시키도록 한다. 또한, 컨테이너 무게의 균등화를 위해 컨테이너 내부 적재 공간을 단위 블록화 시킴으로서 무게 균등화를 쉽게 이룰 수 있도록 제안하였다.

이에 대해 본 연구에서는 먼저, 기존의 연구결과를 바탕으로 3차원 공간으로 정의되는 컨테이너 내에 다양한 규격을 가진 박스, 팔레트, 나무상자 형태를 다루었으며, 각 화물 간에 우선순위와 함께 화물 내에서의 개수별로 우선순위를 두어서 전체 최적화에 유리하도록 하였다. 또한, 적재 물품 내의 하중 분포의 균형화를 취하면서 무게 및 부피의 비율을 고려한 최적의 적재 방안을 제안하였다.

2. 연구 배경 및 가정

본 연구에서는 3차원 컨테이너 내에 화물을 효율적으로 적재하는 방안에 관한 것으로 종래의 연구 결과에 전 컨테이너 취급비용의 최소화화 팔레타이저 및 디팔레타이저를 고려한 적재방법에 관해 연구를 행하도록 한다.

2.1 연구 배경 및 가정

일반적으로 컨테이너는 한꺼번에 많은 화물을 일괄적으로 취급하기 위한 것으로 취급 및 운반 효율성을 높일 수 있어, 주로 장거리 화물 및 수출·입 화물에 널리 이용되고 있다. 수출·입 컨테이너 화물의 경우, 소규모 화물의 취급은 수출·입 화물 포워딩업체에 의뢰하여 여러 화주의 화물을 일괄적으로 다루고 있다. 또한, 대규모 화물을 수출·입하는 경우는 자사 제품창고에서 화물을 직접 컨테이너에 적재한다. 전자의 경우는 화주별 화물의 우선순위를 부여할 수 있으며, 후자의 경우는 제품별 또는 제품내의 단위 그룹별로 우선순위를 부여할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 화물의 우선순위가 주어지는 경우, 화물의 우선순위를 만족하는 범위 내에서 전체 비용이 최소화 되도록 컨테이너의 종류 및 개수를 선정하는 것이다. 또한 화물을 박스, 팔레트 및 나무상자로서 구체적으로 분류하며, 박스의 경우는 팔레트 및 날개 박스로 적재함으로써 적재 공간 효율성을 높이며 상적 허용 화물 및 상하회전 화물 등을 구분하여 다루도록 하였다.

본 연구는 다음과 같은 가정 하에 연구를 진행한다.

- (A1) 화물 적재단위는 개별박스, 팔레트, 나무상자로 분류한다.
- (A2) 팔레트는 표준 팔레트를 이용하며, 특수한 경우는 예외로 한다.
- (A3) 나무상자 종류 및 규격은 사전에 정해진다.

- (A4) 팔레트 높이는 제한되며, 최대 2단 적재만 허용한다.
- (A5) 나무상자위의 팔레트 적재는 허용하지 않는다.
- (A6) 나무상자위에 나무상자적재는 1단만 허용한다.
- (A7) 팔레트 및 나무상자의 상하회전은 허용하지 않는다.
- (A8) 박스는 상적을 기본 원칙으로 하되, 특별히 금지하는 경우도 있다.
- (A9) 모든 나무상자는 팔레트화 시킬 수 없으며 개별 취급한다.
- (A10) 모든 화물의 와적은 허용하지 않는다.
- (A11) 컨테이너는 임대사용을 원칙으로 한다.
- (A12) 컨테이너의 비용은 컨테이너 크기에 따른 비용, 수송 비용, 취급비용을 포함하며, 장치장 또는 야드내의 보관비용은 포함시키지 않는다.
- (A13) 팔레트 비용 또는 임대비용은 포함시키지 않는다.
- (A14) 팔레트 취급비용은 고려하지 않는다.
- (A15) 화물의 적재 우선순위는 반드시 적재해야 하는 화물과 그렇지 않은 화물로서 분류하며, 화물의 개수에서도 반드시 적재해야 되는 화물과 그렇지 않은 화물로 분류하여 총 4가지 등급에 기초한다.

본 가정에서 상적은 화물위에 화물을 쌓는 것을 의미하며, 와적은 화물을 정방향에서 가로, 세로, 높이 방향으로 돌려 쌓는 것을 의미한다.

2.2 연구의 기본 흐름

본 연구의 대략적인 연구수행 절차는 Fig.1과 같이 나타낸다.

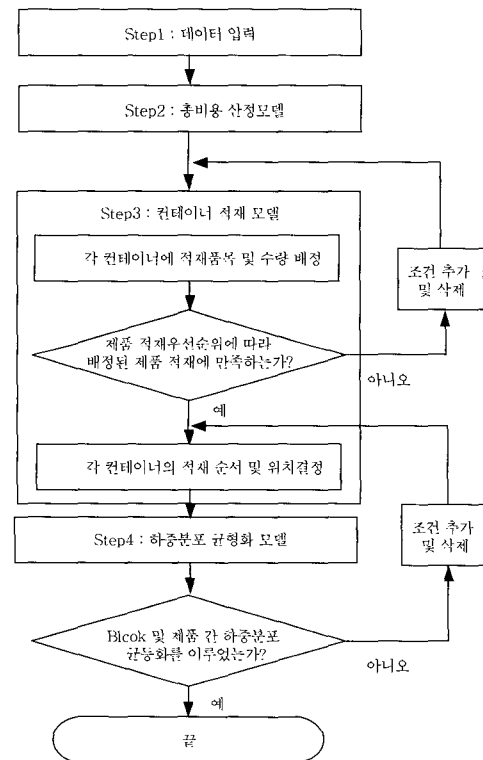


Fig. 1 Flowchart on Three dimensional Container Packing Problem

각 단계별 세부적인 연구수행 절차는 Fig.2, Fig.3, Fig.4에 나타내었다. 먼저, 수주 제품 데이터를 입력하여 화물의 총 부피 및 중량을 계산하고 이를 만족하는 컨테이너 종류 및 개수를 선정 할 수 있는 비용기준을 산정한다. 이때, 비용기준 산정 시 화물의 우선순위 및 화물 내에서의 우선순위 절차에 의한다. 비용 기준에 근거로 산출된 컨테이너 종류 및 개수를 구하며, 각 컨테이너에 적재될 품목 및 수량을 배정한다. 마지막으로 각 컨테이너에 적재된 화물의 하중분포를 고려하여 컨테이너 무게 균등화를 위한 작업을 수행한다.

3.3 차원 적재 모델

3차원 적재 모델에서는 다음 4가지 단계로서 연구가 진행된다.

- 준비단계 : 화물의 기본데이터, 컨테이너 데이터 및 관련 장비 데이터 등을 입력한다.
- 총비용 산정 단계 :
 - 화물의 총 부피 및 중량 계산
 - 최소비용에 의한 컨테이너 종류 및 개수 선정
 - 총 컨테이너 유효 공간 이용 비율 산출
- 컨테이너의 적재 품목 및 수량 배정 단계 :
 - 컨테이너 적재 품목 우선순위 결정
 - 컨테이너 적재 품목 및 수량 배정
 - 컨테이너 유효 공간 이용 비율 산출
 - 컨테이너 유효 적재 중량 비율 산출
- 컨테이너의 화물의 적재 순서 및 위치 결정 단계
 - 무게 균등화에 의한 적재 순서 및 위치 결정
 - 컨테이너 무게 중심 산출

3.1 데이터 입력

본 연구에서 입력될 데이터로서 컨테이너는 표준규격에 의한 것으로 20ft, 40ft, 45ft를 대상으로 한다. 각 화물은 규격 및 중량을 기본 데이터로서 다루며, 팔레트화하는 경우의 팔레트의 종류와 팔레트 내에 적재될 최대 및 최소 단수를 입력한다. 이러한 데이터에 의해 팔레트화시의 최대 및 최소 단적시의 높이의 범위가 산출된다. 또한 박스의 규격 및 중량에 의해서 순수 총체적 비율 및 순수 총중량 비율을 계산한다.

3.2 총비용 산정 모델

앞 절에서 정의된 본 연구의 기본가정에 따르면, (A11)~(A15)는 비용과 관련된 가정들이임을 알 수 있다.

본 절에서의 총비용 산정 모델은 Fig.2와 같은 흐름으로 나타낸다.

먼저, 모든 수주 화물의 부피 및 중량을 더하여 화물의 총 부피 및 중량을 계산한다. 이때, 팔레트는 수주 화물에서 팔레트화 가능한 개수로 정하여 계산한다. 이 모델을 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$D_T = \sum_{i=1}^n a_i b_i h_i m_i + \sum_{i=1}^n c_i m_i \quad (1)$$

$$W_T = \sum_{i=1}^n w_i m_i \quad (2)$$

단,

- n : 적재 화물의 종류
- m_i : i 종 화물의 적재 개수
- w_i : i 종류 화물의 무게
- a_i : 화물의 가로길이
- b_i : 화물의 세로길이
- h_i : 화물의 높이
- c_i : i 종 화물의 팔레트 사용 시의 공간
- D_T : 적재화물의 총 부피
- W_T : 적재화물의 총 무게

(1)과 (2)식으로부터 계산된 적재 화물의 총 부피 및 무게를 만족하는 범위에서 이용되는 컨테이너의 종류 및 개수가 최소 비용이 되도록 컨테이너 종류 및 개수를 선정한다. 다음과 같이 변수를 정의하자.

- \bar{W}_T : 각 컨테이너에 적재 가능한 총 무게
- \bar{D}_T : 각 컨테이너에 적재 가능한 총 부피
- k : 컨테이너 종류
- g_k : k 종 컨테이너의 개수
- d_k : k 종 컨테이너 적재 무게
- w_k : k 종 컨테이너 부피

위의 정의로부터 각 컨테이너에 적재 가능한 총 부피 및 무게는 다음과 같이 나타내어진다.

$$\bar{D}_T = \sum_{k=1}^k g_k d_k \quad (3)$$

$$\bar{W}_T = \sum_{k=1}^k g_k w_k \quad (4)$$

다음으로 컨테이너의 종류 및 사용 개수를 바탕으로 총 비용 C_T 가 계산되며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_T = \sum_{k=1}^k cost_{kc} g_k \quad (5)$$

여기서 $cost_{kc}$ 는 k 종 컨테이너에 대한 비용을 나타낸다.

컨테이너 종류 및 개수 선정 모델에서 이에 대한 목적함수는 다음과 같이 나타내어지며, 목적함수를 최소가 되도록 각 컨테이너 종류에 대한 개수 g_k 를 구하는 것이다.

목적함수

$$J_C = \min C_T \quad (6)$$

subject to

$$\bar{D}_T > D_T$$

$$\bar{W}_T > W_T$$

마지막 단계로 총 컨테이너의 유효 공간에 대한 총 화물의 적재 공간 비율을 나타내는 총 컨테이너의 유효 공간 이용 비율을 산출하는데, 컨테이너 유효 공간 이용비율 D_c 는 다음과 같이 계산된다.

$$D_c = \frac{D_T}{\bar{D}_T} \quad (7)$$

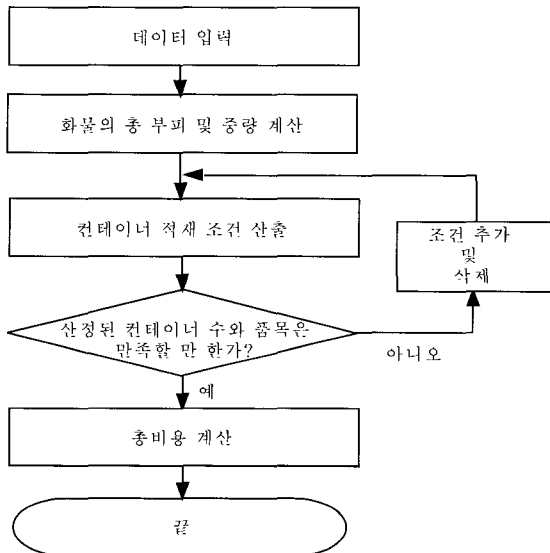


Fig. 2 Flowchart on Total Cost of Container Charge

3.3 컨테이너 적재 모델

본 절에서는 총비용 모델에서 얻어진 결과로 컨테이너 적재 품목 및 수량을 배정해야 하며, 이 경우 적재 품목의 우선순위 결정이 선행되어야 한다. 적재 우선순위 등급은 가정 (A15)에 의해 결정되며, 화물 간에는 긴급과 보통으로 나뉘며, 화물내의 개수에 있어서도 긴급과 보통으로 나뉘어 총 4등급으로 분류된다.

컨테이너 적재를 위한 흐름도는 Fig. 3과 같이 나타낸다. 컨테이너 적재 품목 및 수량 배정은 다음과 같이 진행된다. 먼저, 주된 개념으로서 (1)식과 (2)식에 의해 결정된 각 컨테이너에 대해 화물의 적재 품목 및 수량을 배정하는 것으로서 각 컨테이너마다 적재 화물의 무게 및 부피가 일치되도록 설정할 필요는 없으나, 컨테이너의 허용 중량 및 부피를 초과하지 않도록 배정한다.

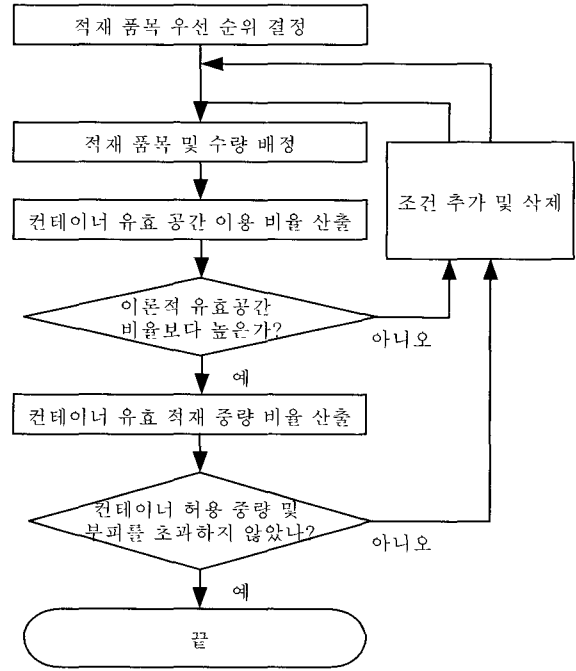


Fig. 3 Flowchart on Container Loading

이에 따른 기본원칙은 소량 화물의 디팔레타이저화 및 분산화하는 것으로서 다음 절차에 의한다.

- 1단계 : 각 컨테이너에 대해서 가능한 동일한 품목별로 배분하는 것을 원칙으로 하나, 이를 만족하지 않은 경우는 유사 크기 위주로 배분하도록 한다.
- 2단계 : 화물의 전체 부피가 큰 종류의 화물을 우선적으로 배정하며 나머지 공간에 가장 적합한 부피의 소규모 화물을 배정하도록 한다. 이때, 나머지 공간이 차 순위의 부피가 큰 화물 보다 크다고 하면 나머지 화물의 각각의 합이 나머지 공간에 가장 근접한 화물들을 선택하도록 한다.(이 경우는 화물의 적재 방식의 변경이 있는 경우에는 재차 고려할 필요가 있다)
- 3단계 : 2단계의 과정을 행할 때는 컨테이너 크기가 작은 사이즈부터 행하도록 한다.
- 4단계 : 모든 컨테이너에 전체 화물을 배정하여 공간 부족이 발생하는 경우에는 소규모 화물을 디팔레타이저한 이후, 처음부터 다시 배정하도록 한다.

화물을 각 컨테이너에 배정하는 절차는 다음 단계에 따른다.

- 1단계 : 각 컨테이너에 대해 부피가 큰 단위화물을 우선순위에 따라 최하위층(바닥)에 배정한다. 이때 유사한 크기의 화물은 가능한 인접시킨다. 단, 컨테이너 공간이 있는 경우에 대해서는 공간이 허용하는 범위에서 이중적재 또는 다중적재를 행하도록 한다.
- 2단계 : 1단계 에서 상적 급지 화물에 대해서는 제외하도록 한다.

- 3단계 : 최하위층 적재 완료 이후, 2층 및 다층 적재의 경우에는 단계 1의 방법에 의해 나머지 화물에 대해서 적재를 반복하도록 한다. 이때, 단계 1에서 다층 적재를 행한 부분에 대해서는 유사한 높이에 이를 때까지 적재를 행하지 아니한다.
- 4단계 : 3단계를 수행하는 경우 화물의 무게중심이 허용 한도 이상 벗어나지 않도록 적재를 행한다.
- 5단계 : 4단계를 수행 한 이후에는 박스 단위 화물을 적합한 빈 공간에 배정한다. 이때 배정 원칙도 단계 1~4와 동일하게 행한다.
- 6단계 : 5단계에서 배정되지 않은 박스 단위 화물이 존재하는 경우에는, 마지막 팔레트 화물 단계로 되돌아가서 팔레트 화물을 디팔레타이저 한 후에 다음 단계를 계속하여 진행한다. 만일 이때에도 배정이 되지 않는 경우에는 이전 팔레트 화물을 계속적으로 디팔레타이저하여 배정이 이루어질 때 까지 반복한다. 이때, 박스 단위 화물은 추방향 적재 및 횡적을 고려하도록 한다.
- 7단계 : 6단계에서 모든 팔레트 화물을 디팔레타이저 하여도 배정되지 않는 경우에는 상적 금지 화물이 지나치게 많거나 나무상자 단위 화물이 많은 경우이므로 컨테이너 개수를 증가시킨 이후 단계 1부터 새롭게 시작한다.

컨테이너 유효 공간 이용 비율 산출은 각 컨테이너에 대한 적재 유효 공간에 대한 화물의 적재 공간 비율을 나타내는 것으로서 컨테이너 i 종류인 j 번째 컨테이너의 유효 공간 이용 비율 D_{ej} 은 다음과 같이 계산한다.

$$D_{ej} = \frac{D_{Tij}}{\widetilde{D}_{Ti}} \quad (8)$$

여기서 D_{Tij} 와 \widetilde{D}_{Ti} 는 i 종류인 j 번째 컨테이너에 배정된 화물의 적재 공간 및 i 종류 컨테이너의 적재 유효 공간을 나타낸다.

또한, 컨테이너 유효 적재 중량 비율 산출은 각 컨테이너의 유효 적재 중량에 대한 화물의 적재 중량 비율을 나타내는 것으로서 컨테이너 i 종류인 j 번째 컨테이너의 유효 적재 중량 비율 W_{Tij} 은 다음과 같이 계산한다.

$$W_{ej} = \frac{W_{Tij}}{\widetilde{W}_{Ti}} \quad (9)$$

여기서 W_{Tij} 와 \widetilde{W}_{Ti} 는 i 종류인 j 번째 컨테이너에 배정된 화물의 적재 중량 및 i 종류 컨테이너의 유효 적재 중량을 나타낸다.

3.4 하중분포의 균형화 모델

본 절에서는 컨테이너 하중 분포에 대한 균형화 모델에 관한 것으로서 우선 화물의 적재 순서 및 위치 결정에 관해서 다루도록 한다. Fig. 4에 컨테이너 하중의 균형화를 위한 흐름도를 나타내고 있다.

적재 순서 및 위치결정을 위해서는 컨테이너 적재품목 및 수량 배정에 의해 각 컨테이너에 배정된 화물에 대해서 화물의 무게 중심이 허용 범위 내에 적재되도록 화물을 재배치하며, 화물의 위치를 결정하도록 한다.

이에 대한 기본원칙은 아래와 같다.

- 원칙1 : 각 컨테이너에 배정된 화물 내에서 재배치를 행한다.
- 원칙2 : 재배치를 행하는 경우는 단위 구간내의 적재된 모든 화물을 이동시키도록 한다.

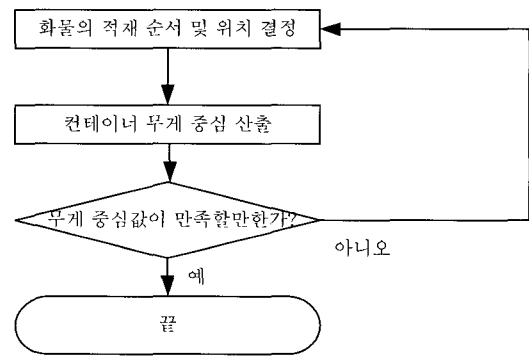


Fig. 4 Flowchart on Equivalence of Freight's Weight

위의 원칙에 의해 재배정 단계는 다음과 같이 분류된다.

- 1단계 : 컨테이너 적재품목 및 수량 배정을 통한 배정된 화물에 대해서 컨테이너 무게중심을 산출한다.
- 2단계 : 컨테이너 내부를 팔레트, 나무상자 또는 박스단위 등을 고려하여 큰 단위로 만든다.
- 3단계 : 무게 중심 비율을 허용 범위 내에 있도록 좌우의 단위 구간 내에 있는 모든 화물을 반복하여 변경시킨다.
- 4단계 : 3단계에서 무게 중심 비율이 허용 범위 내에 존재하지 않으면, 단위 구간을 줄여가면서 3단계를 반복한다.
- 5단계 : 4단계에서도 무게 중심 비율이 허용 범위 내에 존재하지 않는 경우에는 동일한 크기의 팔레트 화물 또는 박스화물의 위치를 변경시켜 3단계와 4단계를 반복한다.
- 6단계 : 5단계에서 완료되면, 컨테이너 내의 모든 화물의 적재 위치를 고정시키고 컨테이너 입구 반대 측 오른쪽 하단부터 좌측으로, 앞쪽으로 그리고 상단으로 화물의 적재 순서를 부여한다. 이때 단계 4에서 구성된 단위 구간별로 행하도록 한다. (단위 구간에서 각 층의 우측 최 하단 → 좌측 → 앞쪽을 행하면서 다음 위층으로 번호를 부여한다)

마지막으로 컨테이너 무게 중심 산출은 각 컨테이너 내의 모든 화물에 대하여 모멘트를 계산하여 무게 중심거리를 계산한다. 이에 대한 기본원칙은 아래와 같다.

- 원칙1 : 각 컨테이너의 무게중심은 종방향에 대해서만 고려한다.
- 원칙2 : 각 화물의 무게중심은 화물의 중심위치로 한다.
- 원칙3 : 각 화물의 높이에 따른 컨테이너 모멘트는 고려하지 않는다.

컨테이너의 전체 화물의 단위 개수를 m 이라 하자. 여기서 단위 개수는 팔레트, 상자화물 및 날개 박스화물 모두를 나타낸다.

컨테이너 중심위치를 기준으로 좌우 방향에 위치한 k 번째 화물까지의 거리를 d_k 라 하며 화물의 무게를 w_k 라 하자. 이때 j 번째 컨테이너의 종방향 모멘트를 M_j 은 다음과 같이 계산한다.

$$M_j = \sum_{k=1}^m d_k w_k \quad (10)$$

여기서 d_k 는 컨테이너 좌우 방향에 따라 부호가 결정된다.

4. 시뮬레이션

본 장에서는 제안된 휴리스틱 기법의 유효성을 증명하기 위하여, Matlab S/W를 이용한 시뮬레이션을 수행하였다.

4.1 시뮬레이션을 위한 가정

본 시뮬레이션에서는 상용화 프로그램 개발에 앞서, 제안된

휴리스틱 알고리즘의 유효성 증명을 목적으로 하였기 때문에 앞 장에서 제안된 휴리스틱 알고리즘을 위한 이론적 가정들과는 약간의 차이를 두고 있다. 먼저, 대상 데이터에 있어서 시뮬레이션에서는 단순히 Box데이터만을 다루고 있다. 나무상자 및 팔레트 화물은 Box 형태에 높이 및 상적의 유무 데이터를 추가하면 가능하기 때문에 상용화 프로그램 구현 시 고려하도록 할 것이다. 다음으로 컨테이너의 종류는 20ft, 40ft만을 고려하였다. 45ft역시 너비 방향으로 증가되는 값이기 때문에 상용화 프로그램 구현 시 충분히 추가할 수 있는 데이터이다. 마지막으로 블록 형성 시 depalletizing 및 palletizing은 Box데이터 형성 시 소규모 크기의 Box를 depalletizing 된 것으로 간주하였고, 유효공간에 Box적재 시 그 유효공간에 가장 적합한 크기를 형성하도록 Box의 palletizing을 수행하였다.

Table 1 Container Data

Container data		
	20ft Container	40ft Container
Length(mm)	5890	12050
Width	2340	2340
Height	2370	2370
Weight(kg)	20320	30480
HandlingCost(won)	1900000	2500000
Capacity(cbm)	32.66	66.83

4.2 데이터 생성

본 시뮬레이션에서는 앞 절에서 언급된 시뮬레이션을 위한 가정을 토대로 컨테이너 규격은 ISO 규정에 의해 Table 1과 같이

Table 2 Freight Sorting Data

Box data									
Priority	Dim_rate	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)	Weight (kg)	Capacity (cbm)	No.of Order	Loss cost (won)	Index
3	5.92	2131	677	502	45	0.72	71	0	9
1	4.06	2367	679	344	41	0.55	73	44230	13
1	3.33	2007	548	364	44	0.40	80	32027	25
2	3.29	513	507	361	44	0.09	79	1878	23
1	2.83	969	568	370	44	0.20	68	16292	18
1	2.75	1135	535	317	41	0.19	77	15399	3
3	2.38	1562	533	486	47	0.40	38	0	8
2	2.32	772	566	313	40	0.14	65	2735	17
1	2.31	977	448	323	42	0.14	81	11310	5
1	2.28	1370	470	291	41	0.19	73	14990	16
3	1.71	1948	537	183	47	0.19	82	0	11
1	1.58	691	682	294	43	0.14	38	11084	6
1	1.55	681	453	294	43	0.09	62	7256	22
1	1.48	2238	641	311	46	0.45	31	35692	7
2	1.38	648	396	265	41	0.07	55	1360	30
1	1.26	1299	675	167	42	0.15	53	11714	20
3	1.23	1328	415	389	47	0.21	37	0	15
2	1.17	1116	441	292	43	0.14	47	2874	12
2	1.06	2146	637	368	42	0.50	19	10061	27
1	0.55	427	294	133	43	0.02	65	1336	26
1	0.47	1579	296	107	42	0.05	72	4001	2
1	0.40	1590	697	154	46	0.17	18	13653	10
3	0.38	2035	271	76	47	0.04	95	0	21
2	0.36	2327	291	288	46	0.20	23	3900	29
1	0.33	1368	212	131	45	0.04	66	3039	20
2	0.31	340	220	72	45	0.01	99	108	14
1	0.10	310	272	51	45	0.00	66	344	4
1	0.05	390	340	78	46	0.01	9	827	1
1	0.04	545	298	269	41	0.04	2	3495	19
1	0.02	668	288	276	40	0.05	1	4248	24

정하였다. 컨테이너 취급비용은 지역 A에서 B로의 수송비용, 처리비용¹⁾, 컨테이너 리스비용 등을 포함하는 것으로 간주하였다.

시물레이션을 위해 다양한 종류 및 크기의 화물 데이터는 일반 적재화물의 크기 분포를 고려하여 랜덤하게 발생하였으며, 주문된 화물의 종류는 30가지로 한정하였다. 화물의 우선 순위 또한 전체 화물수의 75%, 20%, 5%로 랜덤하게 발생시켰다. 마지막으로, 각 화물의 무게는 부피에 대한 비율로 가정하였다. 아래의 Table 2는 화물의 부피비율에 따라 오름차순으로 정렬된 데이터 목록이다.

4.3 알고리즘 적용

본 논문에서 제안된 휴리스틱 알고리즘의 시물레이션을 위해서는, 주문된 화물 list의 모든 화물을 적재하기 위해 필요한 컨테이너의 종류와 개수를 선택하는 작업이 선행되어야만 한

다. 다음의 Table 3에서는 전체 컨테이너 처리 비용을 고려할 경우 가장 경제적인 비용 즉, 최소비용에 따른 컨테이너의 종류와 각각의 개수에 대한 결과 치를 보여주고 있다.

A지점에서 B지점으로, 주어진 모든 화물을 운송하는데 소요되는 총 비용이 최소가 되는 1순위의 컨테이너종류 및 개수는 40ft컨테이너 4개, 20ft컨테이너 2개이다. 이때 효율적인 적재 공간 비율과 적재 중량 비율은 각각 91.76% 와 44.19%로 기대되어진다. 하지만, 주어진 화물들의 총 부피와 중량을 산정된 컨테이너 부피, 중량과 비교 할 때, 1순위 컨테이너 개수의 비율을 만족시키기 어려우므로 효율적인 적재 공간 비율과 적재 중량 비율을 만족시키기 위해서는 2순위 컨테이너 개수를 선택하는 것이 바람직하다.

다음 과정으로, 화물 블록 단위 list를 산정하게 되며 그 결과는 아래의 Table 4와 같다. Table 4에서 보이는 바와 같이

Table 3 Selection of Container with Minimum Cost

Select Container					
Rank	Total Cost (won)	Num.40ft	Num.20ft	Rate. eff-space(%)	Rate. eff-weight(%)
1	13800000	4	2	91.76	44.19
2	14400000	5	1	83.22	41.59
3	15100000	3	4	92.18	41.59
4	15700000	4	3	83.56	39.28
5	16300000	5	2	76.41	37.21
6	16400000	2	6	92.60	39.28
7	16900000	6	1	70.39	35.35
8	17000000	3	5	83.90	37.21
9	17600000	4	4	76.70	35.35
10	17700000	1	8	93.02	37.21

Rate.eff-space = capacity of Total loading freight/capacity of Total container
 Rate.eff-weight = weight of Total loading freight/weight of Total container

Table 4 Block List with Box Data

Block List data								
No.	Length (mm)	Efficient space(%)	Weight (kg)		No.	Length (mm)	Efficient space(%)	Weight (kg)
1	10655.00	96	10441		14	2238.00	92	1271
2	9468.00	95	10920		15	1299.00	98	1856
3	6021.00	98	6845		16	1328.00	94	1586
4	1539.00	96	3579		17	1116.00	93	1720
5	1938.00	96	3033		18	2131.00	86	943
6	2270.00	96	3114		19	2146.00	84	1097
7	3124.00	93	2949		20	969.00	89	1080
8	1544.00	97	4897		21	1135.00	88	1332
9	1954.00	92	3975		22	2238.00	57	1491
10	1370.00	93	1395		23	681.00	88	1653
11	1948.00	94	2489		24	1590.00	46	1200
12	691.00	95	1116		25	513.00	10	132
13	681.00	96	1720					

1) 처리비용은 수송 전, 후의 컨테이너 취급에 관련되는 비용으로 주로 인건비와 THC(터미널하역료)를 포함한다.

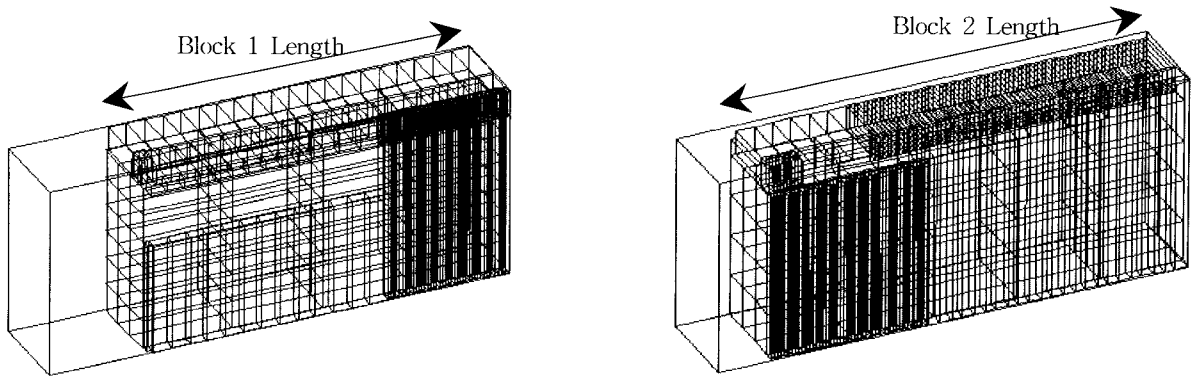


Fig. 5 A case of Block Unit Loading

Table 5 Container Freight Block Loading List

Loading Container Result										
Type	Efficient Space(%)	Efficient Weight(%)	Block No.							
20ft	93	47	[9	11	5]				
40ft	95	39	[1	10]					
40ft	93	46	[2	6]					
40ft	91	37	[3	7	14	25]			
40ft	77	47	[22	19	18	24	8	4	12]
40ft	55	36	[16	15	21	17	20	13	23]

주어진 화물데이터, 각 화물의 블록 길이, 효율적인 적재 화물 비율 그리고 각 화물 블록의 중량에 의해 화물 블록 단위 list는 산정된다. 1순위에서 21순위까지는 2~3 종류의 추가적인 화물을 포함하는 단일 화물의 경우이고, 22순위에서 25순위까지는 그 이외의 소량 화물들을 배치하여 블록을 형성한 경우이다. 따라서 1순위에서 21순위까지는 평균93.4%의 공간 이용률을 보여주며, 나머지 순위들은 50.3%으로 소량화물들의 적재임을 나타내고 있다.

Fig. 5는 블록 1과 2의 구성을 보여준다. 본 시뮬레이션에서, 우리는 실제 컨테이너 적재 형태를 3차원 그래픽으로 표현함으로써, 화물의 적재 순서와 위치를 이해하기 쉽도록 하였다. 모든 블록은 40ft컨테이너의 길이, 높이, 너비를 만족하도록 하였다.

4.4 시뮬레이션 결과

적재 화물 블록에 대한 시뮬레이션 결과는 Table 5와 같다. 적재 화물 블록의 길이는 앞서 선택되어진 컨테이너 종류 및 개수에 적합한 것을 찾아내어야 한다. 따라서 가장 긴 길이의 블록을 적재하고, 남은 여유분의 길이에 적합한 블록을 찾아 적재해 나간다. 이러한 방식으로 Table 5의 블록 그룹들을 형성해 나간다.

본 시뮬레이션의 결과로부터, 제안된 휴리스틱 알고리즘의 비

용결감 여부와 실제 산업현장에서의 활용 가능성을 증명하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 컨테이너에 물품을 적재 시에 컨테이너의 공간이용을 최대화시키면서 하중 분포의 균형을 이루는 3차원 컨테이너 적재 문제를 다루었다. 각 물품의 컨테이너 내의 최적 위치를 결정하는 적재모델을 개발한 후, 총 비용 산정을 통한 경제적 컨테이너 종류 및 개수를 순위별로 나타내어 사용자가 선택할 수 있는 방안을 제시하였다.

또한, 시뮬레이션을 통한 결과는 공간 이용의 개선과 비용 절감의 효율적 측면을 보여주고 있다. 앞으로의 연구에서 우리는 제안된 휴리스틱 알고리즘을 기반으로 컨테이너 적재 모델의 그래픽적 표현을 통해 시뮬레이션 프로그램의 상용화를 기대하는 바이다.

참 고 문 헌

- [1] 임문택(1998), "무한경쟁시대의 컨테이너부두 운영전략", 한국항만학회지12-2, pp. 195~206.
- [2] 이채민, 신재영(2003), "장치장 모니터링 시스템과 통합된 효율적인 수출 장치장 계획 시스템", 한국항해항만학회지

- 제27권 제1호, pp. 31~40.
- [3] 황학, 이관재, 신지웅(1997), “3차원 물품 적재에 관한 마이 크로 컴퓨터용 프로그램 개발”, 대한산업공학회지, Vol. 23, No. 1, pp. 55~76.
- [4] Bortfeldt, A., Gehring H.(2001), “A hybrid genetic algorithm for the container loading problem”, Operational Research, Vol. 131, pp. 143~161.
- [5] Lodi, A., Martello, S., Vigo, D.(2002), “Heuristic algorithms for the three-dimensional bin packing problem”, Operations Research, Vol. 141, pp. 410~420.
- [6] Martello, S., Pisinger, D., Vigo D.(2000), “The three-dimensional bin packing problem”, Operations Research, Vol. pp. 256~267.

원고접수일 : 2003년 8월 29일

원고채택일 : 2004년 8월 13일