

화물 적재 문제에 있어서의 배치 형태에 관한 연구

- A Study of The Layout of Boxes to the Cargo Loading Problems -

김영민 *

Kim Young Min

이준희 **

Lee Jun Hee

Abstract

The purpose of this thesis is to develop a heuristic algorithm evaluating the layout to maximize number of boxes when a single-box-type is packed into a container. Actually because three-dimensional problems are involved in NP-complete, much study has been focused on heuristic algorithms. The basic concept of this study is as follows. The problem is solved as palletizing problems with each side of the container respectively. By using the height of boxes, the problem is extended to a three-dimensional problem. Consequently, through this thesis, we can get good solution and the result is displayed by three-dimensional computer graphic.

Keywords : Layout Boxes, Cargo Loading

† 본 연구는 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

* 인하대학교 기계공학부 교수

** 인하대학교 산업공학과 석사

2006년 5월접수; 2006년 6월 수정본 접수; 2006년 6월 게재확정

1. 서 론

현재 기업들의 상품수송에 있어서 대부분 큰 비중을 차지하는 것이 컨테이너(container)이다. 따라서 컨테이너를 이용하면서 생기는 부대비용의 절감과 물류 비용 절감이 원가절감과 직결되는 문제이므로 팔레트 및 컨테이너에 물건을 적재하는 문제(container Loading Problem)에 대하여 그 동안 여러 사람들이 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 컨테이너 속에 빈 공간을 최소화시키는 효율적 방법을 이용하여 단일 제품 상자(box)를 적재할 때, 최대 적재 개수와 적재 형태(layout)를 구하는 데 목적을 두고 있다. 실제로 컨테이너에 제품을 적재하는 것은 3차원 문제이나 컨테이너와 제품의 높이를 각각 영으로 고정시킨다고 생각하면 2차원 팔레트화(Palletizing) 문제로 축소될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Han의 연구에서 보인 높이를 고정 시킨다는 개념은 같으나 고정시키는 면을 변화시킴으로써 같은 상자에서도 더 나은 적재패턴을 산출하는 알고리즘을 제시한다. 컨테이너 적재 문제는 수리적으로 NP-Complete 부류에 속하는 문제이므로 최적 해법 보다는 발견적 해법이 많이 연구되어 왔다.

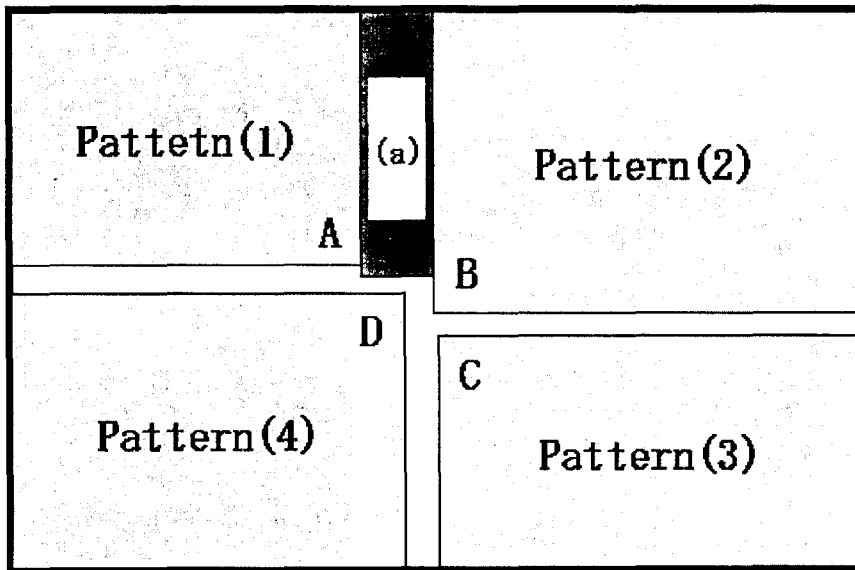
본 연구는 Steudel의 적재 패턴을 기본 적재 형태로 하고, 수정 보완 과정을 거쳐 2차원 적재 개수를 구한다. 이후 이것을 다층 구조의 3차원 문제로 확장시켜 팔레트를 층층이 쌓는 방식으로 전체 컨테이너 안에 적재된 상자의 최대 개수와 배치 형태를 구한다. 계산 절차에 의해 적재 형태는 다르나, 적재 개수가 같은 적재 패턴이 여러 개 나올 수 있다. 이런 경우에는 현장에서의 작업환경을 적용하여 적합한 적재 형태를 구해야 하나, 본 연구에서는 계산의 신속성을 위해, 이런 면을 배제하고 최대 개수를 갖는 적재 형태 중 계산상의 순차성에 의해 결과를 산출한다. 그리고 시각적인 이해를 돕기 위해 3차원 배치형태는 Auto Cad를 이용하여 처리하였다.

2. 발견적 해법의 개발

컨테이너 안에 상자를 적재하는 것은 3차원 적재이다. 그러나 컨테이너의 한 면을 팔레트화(Palletizing) 문제로 축소시켜 2차원 적재를 실시한 후 적재된 상자의 높이를 이용하여 적재된 팔레트를 층층이 쌓으면, 마찬가지로의 3차원 적재 형태를 가질 수 있다. 이런 기본 개념을 바탕으로 본 연구에서는 최대 적재 개수를 구할 수 있다고 본다. 따라서 본 해법은 우선 팔레트화(Palletizing) 적재를 위해 Steudel의 연구 결과를 토대로 개선시킨 2차원 적재 해법을 적용시키고, 둘째로 최대 적재량을 보이는 층별 적재형태를 구하기 위해 변의 이용률을 높이는 자르기 방법을 채택하여 3차원 적재를 실시한다. Steudel의 알고리즘은 사각형의 형태를 갖는 팔레트에 우선 적재를 하고, 이것을 다시 원 팔레트에 적재하는 것이다. 그런데, 이런 적재 방식을 취하는 경우에 적용되는 상자에서 한 변이 다른 변 보다 많이 긴 경우에는 <그림 3-1>과 같이 각 패

턴(Pattern)사이에 미사용공간이 발생함을 볼 수 있다.

<그림 2-1>에서 (a)의 공간은 각 패턴(Pattern)이 갖는 팔레트와 관계없이 한 개의 상자가 적재되기에 충분한 공간이다. 이렇게 미사용공간이 발생하는 경우가 팔레트 안에서 발생하므로 수정 보완의 절차가 필요하다.



<그림2-1> 적재공간이 발생한 경우

다음은 팔레트(L * W)에 상자(l * w * h)를 적재한 경우를 예를 들어 설명한다.

단계 1) 기준점을 좌 상단으로 잡고 각 점들의 좌표를 계산한다.

A(gx1, gy1)

C(gx3, gy3)

B(gx2, gy2)

D(gx4, gy4)

단계 2) 각 패턴사이의 사각형 공간을 설정한다.

ㄱ. 가로축 설정

$DX_i = i$ 번 길이 - {첫 번째 패턴의 가로길이 + 두 번째 패턴의 가로 길이}

ㄴ. 가로축 설정

$DY_j = j$ 번 길이 - {min(C,D)인 패턴의 세로 길이}

단계 3) 상자의 크기와 비교한다.

$$(DX_i < 1, DY_j < w) \text{ 또는 } (DX_i < w, DY_j < 1)$$

단계 4) 적재할 수 있는 최대 수를 계산한다.

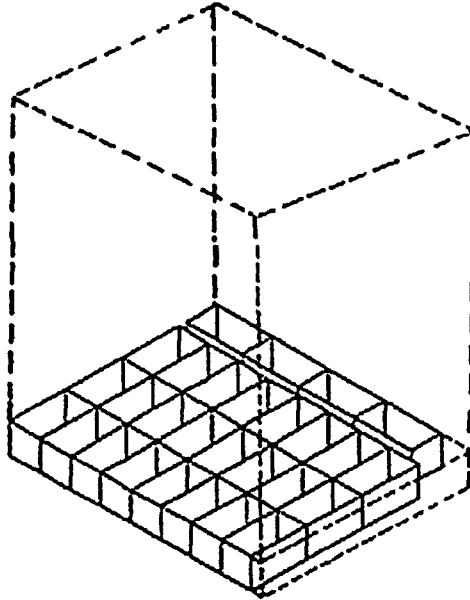
$$e_x = [\max(DX_i / w)]$$

$$e_y = [\max(DY_j / w)] \quad [a] : a \text{를 넘지 않는 최대 정수}$$

단계 5) 적재 개수를 구한다.

$$D = D + D_e$$

이 단계를 이용해 (A-B), (B-C), (C-D), (D-A)사이의 공간을 모두 비교하고, (A, B, C, D)를 모서리로 하는 공간을 최종 비교하여 2차원 적재를 마친다. 다음 <그림 2-2>은 2차원 적재를 마친 팔레트의 3차원 그림이다.



<그림 2-2> 팔레트 적재를 실행한 컨테이너 밑면

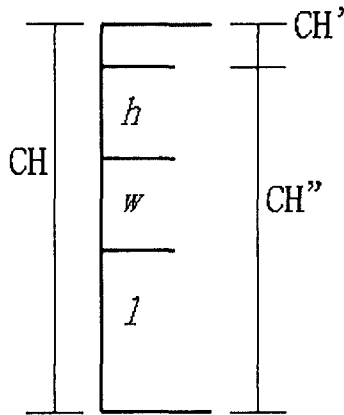
팔레트에 상자를 적재한 후 컨테이너의 높이를 상자의 높이로 자르기를 하며 팔레트를 층층이 적재하기 때문에 아래의 가정이 필요하다.

가정 1) 한 층을 이루는 상자의 높이는 동일하며 상자의 모든 면으로의 적재가 가능하다.

가정 2) 컨테이너의 높이 축으로 층별 구조를 이루면서 팔레트를 적재한다.

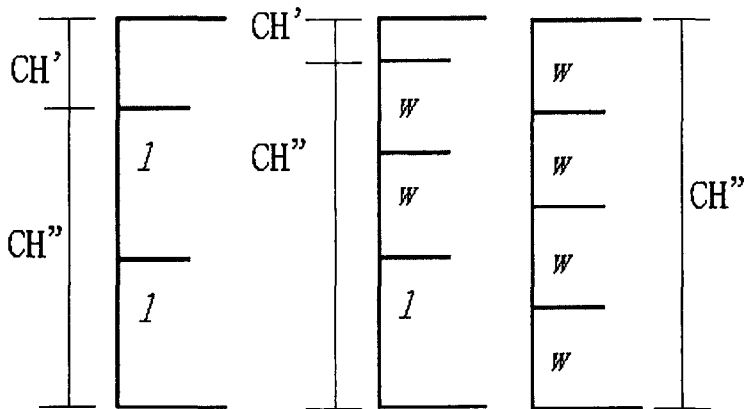
가정 3) 컨테이너의 세 면을 모두 높이로 이용하므로 컨테이너의 모든 면으로의 적재가 가능하다.

위와 같은 가정 하에 미리 고정된 컨테이너 변을 상자 변으로 자르기를 하여 최대한 변의 이용률을 높이는 것이다. 다음은 고정된 변이 CH일 때를 예로 설명한다.



<그림 2-3> 고정된 변의 적재 형태

<그림 2-3>과 같이 l변을 높이로 갖는 팔레트 한 개와 w변을 높이로 갖는 팔레트 한 개, 그리고, h변을 높이로 갖는 팔레트 한 개를 층으로 이루고, CH'의 길이를 자투리로 갖는다. 다음 <그림 2-4>은 몇 가지 경우의 층별 적재를 나타낸다.



<그림 2-4> 층별 적재의 몇 가지 경우

<그림 2-4>와 같이 l, w, h으로 층별 적재가 된 많은 경우가 있다. 그러므로 CH'가 최소가 될 수 있는 적재 형태 중 적재 개수가 최대일 때를 조건으로 하며, 다음 단계를 실행한다.

단계 1) 고정된 컨테이너의 변(CH)을 상자의 변(l, w, h)으로 자를 수 있는 최대 수를 구한다.

$$H_1 = \max\{ CH / l \}$$

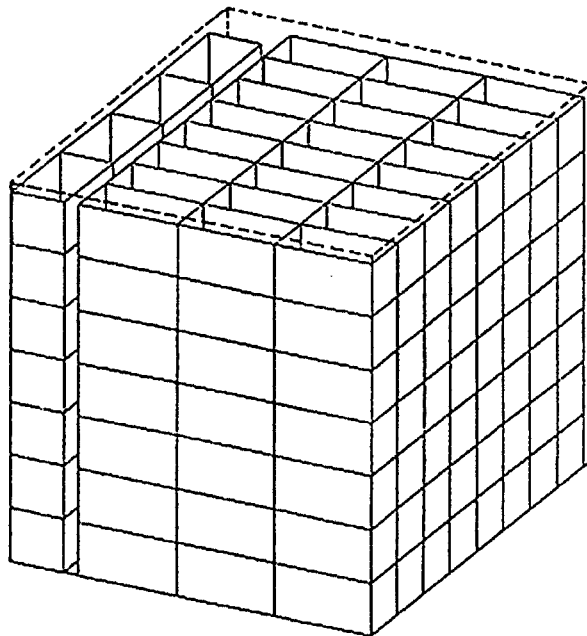
$$H_2 = \max\{ CH / w \}$$

$$H_3 = \max\{ CH / h \}$$

단계 2) CH'을 최소로 하는 적재 형태를 구한다.

$$CH' = \min\{ CH - (l*H_1 + w*H_2 + h*H_3) \}$$

<그림 2-5>는 최종적인 컨테이너안의 적재형태를 보여주고 있다.



<그림 2-5> 컨테이너안의 배치 형태

< 알고리즘 개발 >

단계 1) C=1, B=1에서 시작한다.

- ㄱ. 컨테이너의 한 변을 '0'으로 고정시키고, 나머지 두 변으로 이루어지는 팔레트를 설정한다.
- ㄴ. C=C+1을 하고, C<6까지 단계 1), 2), 3)을 반복한다.

단계 2) B=B+1을 하고, B<3까지 반복 수행한다.

- ㄱ. 결정된 팔레트에 상자의 가로면, 세로면, 높이 면을 차례로 적재시킨다.
- ㄴ. 각 경우의 적재 개수(N_{CB})를 계산한다.
- ㄷ. 각 경우의 높이(bh_{CB})를 산출한다.
- ㄹ. 컨테이너 높이를 bh_{CB}로 자를 수 있는 최대 수(n_B)를 계산한다.

$$\text{Max}\{ n_B \} = ch_C / bh_{CB}$$

단계 3) 팔레트를 층별 적재시킨다.

- ㄱ. 팔레트의 층수를 계산한다.

$$fic_{CB} = \text{Min}\{ ch_{CB} - bh_{CB} * i \} \quad i = 0, \dots, \text{max}\{ n_B \}$$

- ㄴ. 전체 적재 개수를 계산한다.

$$BN_C = N_{CB} * fic_{CB}$$

단계 4) 최대 적재 개수를 계산한다.

$$\text{Max}\{ BN_i \} \quad i = 1, \dots, 6$$

3. 프로그램 실행 및 결과

프로그램 상에서는 컨테이너의 각 면에 대한 적재 형태를 보여준다. 그러나, 여기에는 그 중 일부인 첫째 면에 대한 실행 예만을 실었다.

(1) 대상 문제의 데이터

	컨테이너	상자
가로	48	11
세로	42	6
높이	40	6

(2) 입력 사항 형태

———— CONTAINER LOADING PROBLEM ————

Container Length :
Container Width :
Container Height :

Box Length :
Box Width :
Box Height :

Correct ? (y/n)

(3) 데이터를 입력한 형태

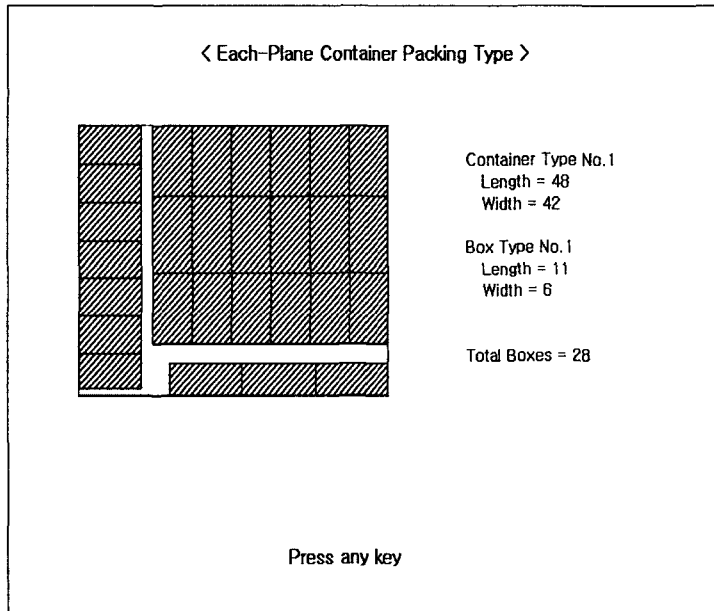
———— CONTAINER LOADING PROBLEM ————

Container Length :48
Container Width :42
Container Height :48

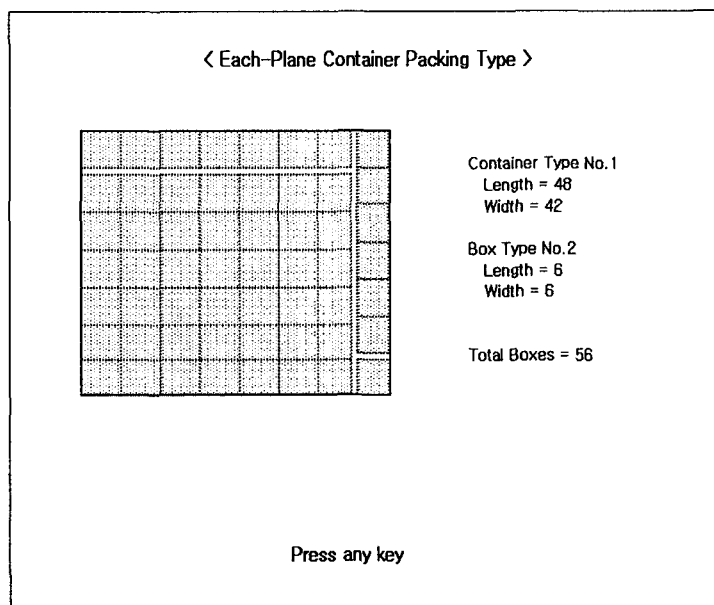
Box Length :11
Box Width :6
Box Height :6

Correct ? (y/n)

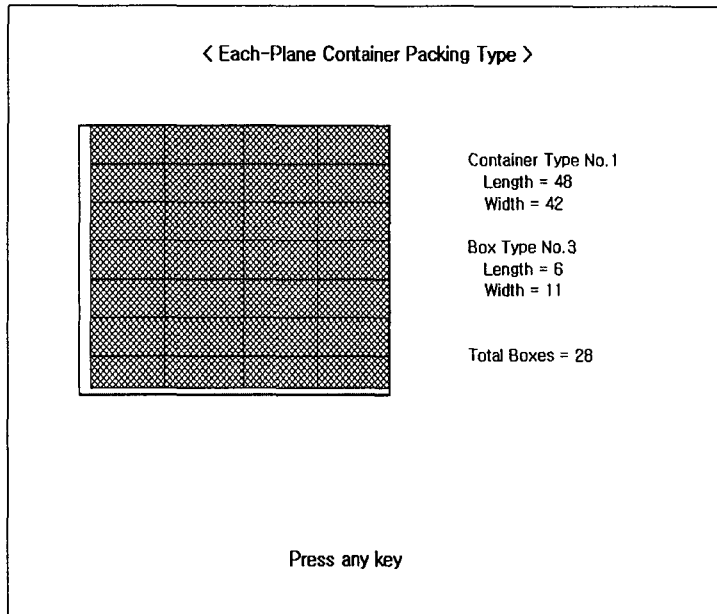
(4) 가로, 세로(48 * 42)인 2차원 면에 상자(11 * 6)를 적재한 예



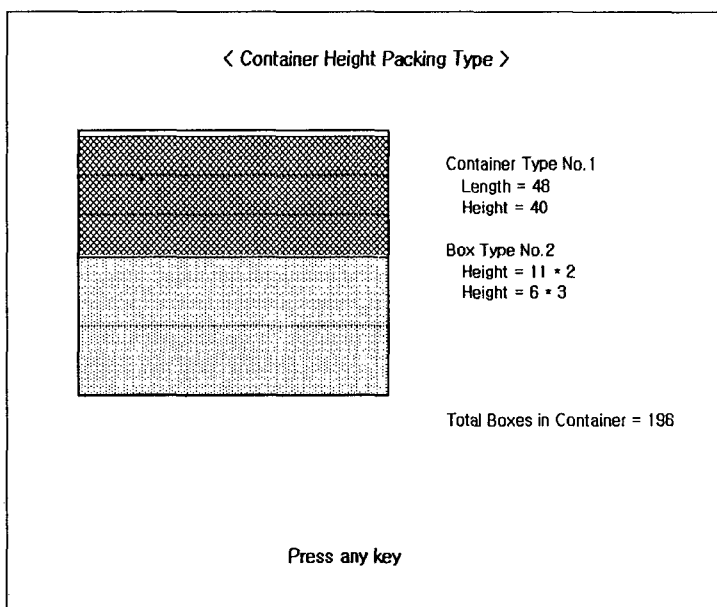
(5) 가로, 세로(48 * 42)인 2차원 면에 상자(6 * 6)를 적재한 예



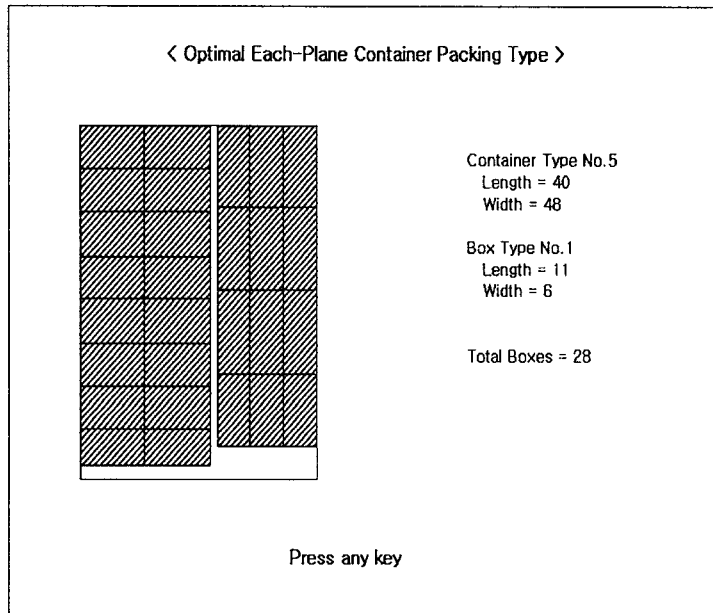
(6) 가로, 세로(48 * 42)인 2차원 면에 상자(6 * 11)를 적재한 예



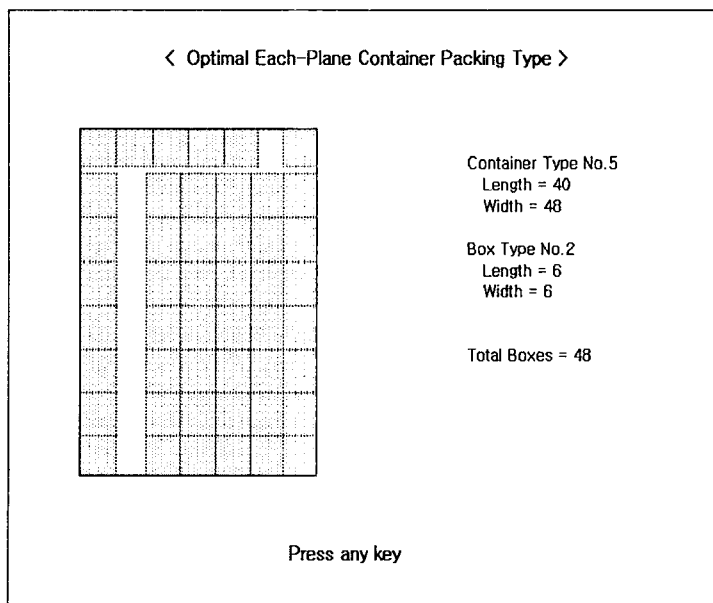
(7) 적재형태 (4), (5), (6)을 갖는 팔레트를 컨테이너 높이에 층별 적재한 예



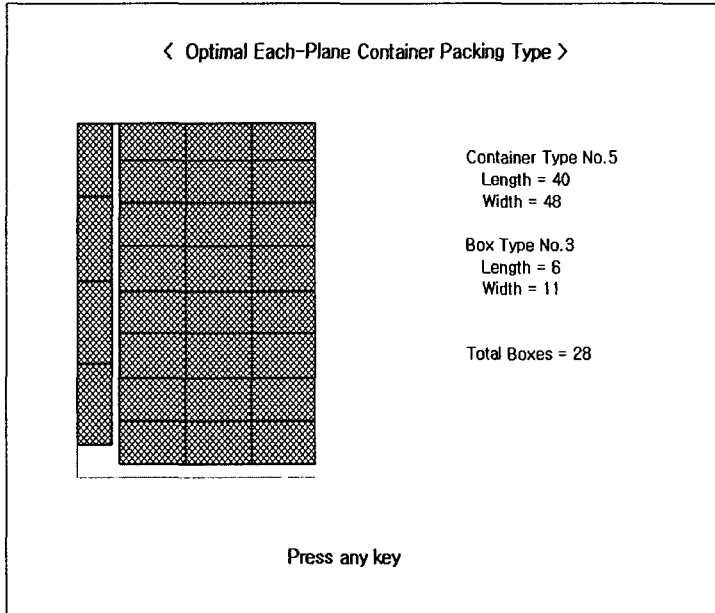
(8) 최대 개수를 가질 때의 2차원 면(40 * 48)에 상자(11 * 6)를 적재한 예



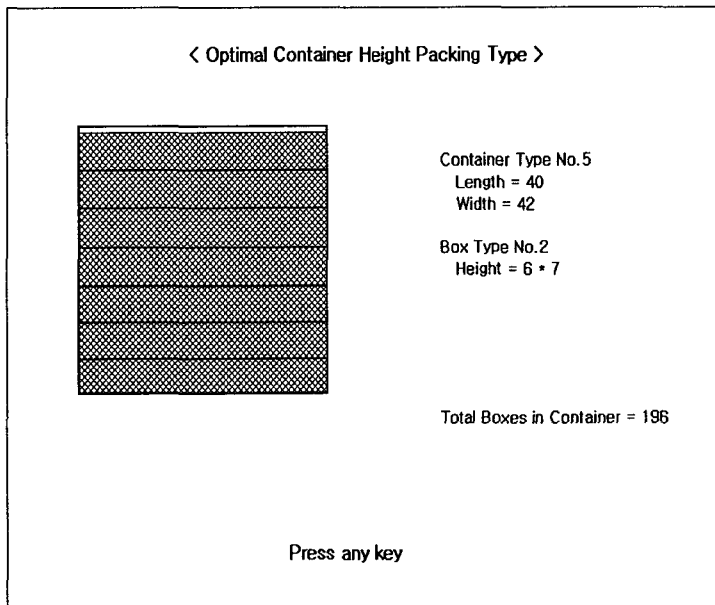
(9) 최대 개수를 가질 때의 2차원 면(40 * 48)에 상자 (6 * 6)를 적재한 예



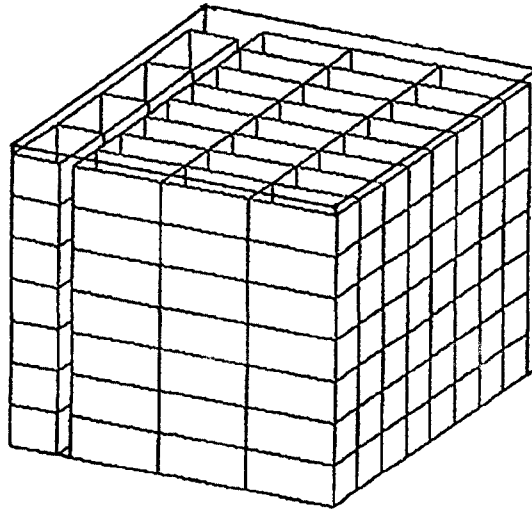
(10) 최대 개수를 가질 때의 2차원 면(40 * 48)에 상자(6 * 11)를 적제한 예



(11) 최대 개수를 가질 때의 층별 적제한 예



(12) 컨테이너 안의 적재 형태



<표1>에서 비교 데이터는 Han의 논문에 있는 데이터를 사용하였고, 배치 형태는 프로그램의 운용 예에서 보여 주었다.

<표1> 결과 치 비교표

번호	컨테이너	제품	적재량 (개)	
			기존 연구	본 연구
1	48*42*40	11*6*6	195	196
2	2802*2330*2197	680*430*240	192	192
3	2802*2330*2197	945*820*496	29	29
4	2802*2330*2197	1068*913*661	19	20
5	2802*2330*2197	1020*915*570	24	24
6	2802*2330*2197	990*645*620	26	26
7	2802*2330*2197	920*830*490	30	34
8	2802*2330*2197	1060*860*520	26	26
9	2802*2330*2197	780*720*460	51	53
10	2802*2330*2197	710*435*305	141	145
11	2802*2330*2197	770*435*280	136	150

4. 결 론

컨테이너 적재문제(Container Loading Problem)는 NP-complete 부류에 속하는 문제이다. 그러므로 본 논문에서도 발견적 해법을 개발하였고, 시스템을 개발하여 본 해법을 처리하였다. 기존 연구에서는 변의 이용률을 최대화하는 제품의 길이로 한 변을 고정시켜 버림으로써 최적화 기회를 상실하는 단점을 보이고 있어서, 본 연구에서는 컨테이너의 서로 다른 세 면에 대한 모든 경우를 고려하여 2차원 적재를 수행하였다. 그 결과 기존 연구 결과 보다 더 나은 적재량을 구했으며, 같은 적재량 하에서 적재하기 단순한 적재 형태를 구하였다. 실제로, 기업에서 동일 제품에 대한 적재는 수행 시간이 큰 비중을 차지하지 않고 있다. 그래서 계산 시간 보다는 적재량, 그리고 적재량이 같다면 적재하기 편한 배치 형태를 원하고 있다. 또한 제품 특성에 따라 2단 적재가 불가능한 것 등 여러 가지 제약 요소가 있어 동일 제품에 관한 연구가 필요하다.

본 연구에서의 시스템은 C언어를 주축으로 개발하였으며, 3차원 배치형태는 Auto Cad를 이용하여 처리해 주었다.

추후 연구과제는 더 나은 적재 형태를 구하는 팔레트 적재 알고리즘을 사용하거나, 3차원 문제를 2차원으로 축소하면서 발생할 수도 있는 좋은 노드의 상실을 막기 위해 팔레트를 사용하지 않고 직접 적재하는 발견적 해법이라고 본다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 문 성준, "동일 제품의 컨테이너 적재 문제에 대한 발견적 알고리즘", 한양대학교 대학원 석사학위 논문, 1991.
- [2] Christofides, N. and Whitlock, C., "An Algorithm for Two Dimensional Cutting Problems", *Operations Research*, Vol.13, (1997), pp. 30-44.
- [3] George, J. A. and Robinson, D. F., "A Heuristic for packing boxes in a container", *Computers & Opns Res.*, Vol.7, (1980), pp. 147-156.
- [4] Gilmore, P. C. and Gomory, R. E., "Multistage Cutting Stock Problems of Two and More Dimensions," *Operations Res.*, Vol.13 (1965), pp. 94-120.
- [5] Han, C. P., Knott, K., and Egbelu, P. J., "A Heuristic Approach to the Three-Dimensional Cargo-Loading Problem", *Int. J. Prod. Res.* Vol.27, No.5, (1989), pp. 757-774.
- [6] Hall, N. G., "The Inventory Packing Problem", *Naval Research Logistics*, Vol.36, (1989), pp. 399-418.
- [7] Smith, A. and De Canl, P., "An Algorithm to Optimize the Layout of Boxes in Pallets", *J. of Operational Research Society*, Vol.31, (1980), pp. 73-578.

- [8] Steudel, H. J., "Generating Pallet Loading Patterns : A Special Case of the two-Dimensional cutting Stock Problem", *Management Science*, Vol 25, No.10, 1979.

저 자 소 개

김 영 민 : 현재 인하대학교 기계공학부 교수로 재직 중이다. 미국 Bridgeport 대학교에서 전기공학과를 졸업(1970), 동 대학원에서 산업공학석사(1972)를 취득하였다. 주요관심 분야는 금융공학, 경제성공학 등이다.

이 준 희 : 인하대학교 산업공학과석사.

저 자 주 소

김 영 민 : 서울 강남구 도곡2동 타워팰리스 A-3501

이 준 희 : 서울 서초구 서초3동 한진오피스 901/902