

工學碩士 學位論文

컨테이너 화물 적재에 관한 연구

A Study on Container Packing Problem

指導教授 金 煥 成

2004年 8月

韓國海洋大學校 大學院

物流시스템工學科

裴 愨 洲

차 례

Abstract

제 1장 서론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구방법 및 구성	2
제 2장 컨테이너 운송 및 적재	4
2.1 컨테이너 운송의 현황 및 적재문제	4
2.2 CFS에서의 컨테이너 적재 현황	6
2.3 선행연구의 고찰	8
제 3장 3차원 컨테이너 적재 알고리즘	11
3.1 가정 및 기본사항	11
3.2 데이터 입력	13
3.3 총비용산정 모델	14
3.4 팔레타이저	18
3.5 컨테이너적재 모델	25
3.6 하중분포균등화 모델	31
제 4장 시뮬레이션 및 고찰	33
4.1 시뮬레이션	33
4.2 소프트웨어 프로그램의 개발	36
4.3 프로그램 결과	38
4.4 고찰	41
제 5장 결론 및 향후 연구방향	45
참고문헌	46

표 차례

<표 2-1> 우리나라 수출기업의 수출액대비 물류비	4
<표 2-2> 운송수단별 내륙운송운임	5
<표 2-3> 주요 수출입항로별 터미널하역료 현황	5
<표 2-4> 포워딩업체에 대한 위탁물량 비중	6
<표 2-5> CFS 컨테이너 작업 현황	7
<표 3-1> 상세 입력 데이터	13
<표 3-2> 적재우선순위 등급의 분류	25
<표 4-1> 컨테이너 데이터	33
<표 4-2> 화물 정렬 데이터 목록	34
<표 4-3> 비용에 따른 컨테이너개수 선정 순위	34
<표 4-4> 형성된 블록 목록	35
<표 4-5> 각 컨테이너에 적재된 블록목록의 조합	36
<표 4-6> 화물량의 증가에 따른 적재결과 비교	41
<표 4-7> A사의 작업시간 자료	42
<표 4-8> 적재비용의 비교	42
<표 4-9> 총 물류비용의 비교	43

그림 차례

<그림 3-1> 알고리즘의 개괄적 흐름	12
<그림 3-2> 총비용산정 모델의 상세 흐름도	14
<그림 3-3> 팔레타이저의 상세 흐름도	19
<그림 3-4> 팔레타이저 방법	20
<그림 3-5> 단블록의 경우의 수	23
<그림 3-6> 블록끼워넣기 배치의 경우의 수	24
<그림 3-7> 컨테이너 적재 및 하중분포균등화 모델의 상세 흐름도	26
<그림 3-8> 컨테이너 적재위치 및 적재방향	28
<그림 4-1> 블록형성의 예	35
<그림 4-2> Container Loader의 메인 화면	37
<그림 4-3> A기업의 적재 결과: 첫 번째 컨테이너	38
<그림 4-4> A기업의 적재 결과: 두 번째 컨테이너	38
<그림 4-5> A기업의 적재 결과: 세 번째 컨테이너	39
<그림 4-6> Container Loader를 이용한 적재결과: 첫 번째 컨테이너	40
<그림 4-7> Container Loader를 이용한 적재결과: 두 번째 컨테이너	40

A Study on Container Packing Problem

Bae, Min Ju

*Department of Logistics Engineering,
Graduate School of Korea Maritime University*

Abstract

Using of a container brought to reducing handling time and increasing rotation rate of ship service. Also, it improved efficiency of traditional ships and helped a high level of industrial structure by distribution system which is changed into the mass production-consumption.

Through the influence of such containers, minimized total logistics cost and attainment of multimodal transport will be achieved.

Specially, The container makes possible door-to-door services and has some advantages such as damage protection and lost reduction of freights, but it needs the capital of large scale and requires an expert knowledge and high level technology. Consequently, we need special techniques which consider the total logistics cost for container.

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 indicate more efficiency space utilization and show the possibility of using on commercial business.

제 1장 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

화물의 운송수단으로는 일반적으로 벌크/로로/컨테이너 등의 여러 운송방식이 있으며 현재 세계적으로 이용하는 방식이 컨테이너방식이라 할 수 있다. 최근 화물 수송에 있어 컨테이너는 팔레트와 함께 유닛로드 시스템의 주축을 이루며 육상, 해상 및 항공등의 광범위한 수송경로에서 필수불가결하게 이용되고 있다. 또한 보관, 하역 및 유통 등의 물류관리차원에서도 그 유용성을 인정받고 있다[7]. 특히, 수출·입 화물의 해상·항공수송에 있어서는 완전한 컨테이너화 체계가 확립되어 컨테이너에 의한 내륙수송과의 협동일관수송이 실현되고 있다[8].

화주, 포워드, 선사 등 화물취급을 통해 이윤을 얻는 업자들에게 이러한 컨테이너는 중요하게 다루어져야 할 대상이다. 따라서 컨테이너 취급에 있어서도 효율성과 경제성을 고려한 방안들이 필요하다. 컨테이너의 취급은 주로 적재작업과 그 외의 하역작업으로 구분될 수 있는데, 이 중 적재작업은 적재되는 화물의 양에 관계없이 컨테이너 운임이 산정되기 때문에 비용고려의 측면이 크다. 컨테이너 적재작업은 주로 기업 자체 내에서 수행되거나 컨테이너 터미널의 CFS에서 수행되고 있다. 하지만 적재작업이 거의 수작업에 의존하고 있기 때문에 많은 시간이 소요되고 적재효율이 낮다는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해서는 효율적인 적재 방법의 설계 및 운영을 통해 신속한 작업을 제공하는 동시에 경제적인 운영을 도모할 필요가 있다.

이런 취지에서 본 연구는 컨테이너에 임의의 크기와 무게를 가지는 화물을 적재하고자 할 때 유효 공간 활용을 최대화시키는 효율적인 방법을 제안하고자 한다. 특히, 산업구조가 다품종·소량화 되어감에 따라 다양한 종류와 수량을 가지는 화물들을 대상으로 적재방법을 연구하고자 한다. 수출 컨테이너에 다품종 소량 화물을 적재하여 운반하는 경우, 몇 종류의 화물을 어떻게 컨테

이너 내에 적재할 것인가에 따라 컨테이너의 유효 공간을 최대화 시킬 수 있으며, 이는 직접적으로 컨테이너 운반비용을 최소화하는 것으로 직결된다. 또한, 각 컨테이너에 어떤 순서로 다품종 화물을 적재할 것인가에 따라 컨테이너 무게 분배가 이루어지며, 이는 화물 취급 안정성과 깊이 관련되어 수송 중인 화물의 손상을 유발시킬 수 있으므로 중요시해야 하는 항목이다. 컨테이너 적재문제에 있어 하중분포 균형화에 관한 연구와 구체적인 비용요소를 고려한 적재방안에 관한 연구는 아직 미진한 상태이므로 본 논문에서 깊이 있게 다루고자 한다. 그리고 본 연구에서 제안하는 적재방법을 토대로 사용자의 시각적 인지가 용이하도록 3차원 그래픽 표현을 통해 실제 현장에서 활용이 가능한 적재 소프트웨어 프로그램을 개발하는데 본 연구의 목적을 두는 바이다.

1.2 연구방법 및 구성

본 연구에서는 컨테이너라는 한정된 공간을 가지는 용기와 다양한 크기와 종류를 가지는 상품들을 대상으로 하는 CPP(Container Packing Problem)를 다루고 있다. CPP는 일반적으로 컨테이너 적재문제를 뜻하는 것으로 PLP(Pallet Loading Problem)와 함께 BP(Bin Packing)문제에서 발전한 개념이다. CPP는 CLP(Container Loading Problem), 3BPP(Three-dimensional Bin Packing Problem) 등으로도 불리며, 최근에 있어서는 Multi-dimensional 문제로써 다루어지고 있다. 이러한 컨테이너 적재문제를 해결하기 위하여 기존의 다른 연구들과 차별되는 다음의 방법으로 연구를 수행하고자 한다.

첫째, 표준규격의 컨테이너에 다양한 규격과 수량을 가지는 화물을 대상으로 박스모듈과 팔레트모듈을 고려하였다. 둘째, 컨테이너 운송에 소요되는 제반비용을 산정하였다. 셋째, 화물적재방법에 있어 탐색적 경로로 접근하여 팔레타이저, 블록화, 끼워넣기 방법 등을 제안하였다. 이러한 방법들은 컨테이너 하중분포의 균등화 시 역탐색 방법으로 디팔레타이저 및 블록의 재배치로 표

현되어 질 수 있다.

본 논문은 제1장 서론에 이어 총 5장으로 구성된다. 제 2장에서는 컨테이너 운송 현황의 조사를 통해 적재문제 연구의 필요성에 대해 언급하고, 이러한 적재문제의 선행연구들을 고찰한다. 제 3장에서는 본 연구에서 제안하는 알고리즘에 대하여 구체적으로 설명한다. 알고리즘은 비용, 팔레타이저화, 하중분포 등 중요 요인들을 고려하여 다수의 원칙과 방법을 따르고 있다. 제 4장에서는 3장에서 제안된 알고리즘의 타당성을 검토하기 위하여 시뮬레이션을 수행하고, 실제로 관련 산업에 적용하기 위한 소프트웨어 프로그램 개발과 그 결과에 대해 설명한다. 마지막으로 제 5장에서는 결론으로써 연구결과에 대한 논의점 및 향후 연구방향 등을 제시한다.

제 2장 컨테이너 운송 및 적재

2.1 컨테이너 운송의 현황 및 적재문제

세계 각국간의 활발한 상품교역에 힘입어 해상물동량이 급격히 증가하게 되면서 이를 제대로 소화할 수 있는 외항 선박량과 항만운영능력의 문제가 대두되었다. 이 중 부정기화물은 선박의 대형화 및 전용선화 등으로 해결되었으나 주로 잡화에 해당하는 정기선화물은 하역비 증가분에 대한 해상운임의 인상, 선박 체항시간 장기화로 인한 선박운항률의 저하, 화물의 안전성 문제, 비효율적인 환적 등 많은 문제점이 발생하게 되었다.

또한 대량생산 및 소비체제가 보편화됨으로써 유통합리화의 요청이 강력하게 대두되었다. 이와 같은 정기채래선 운영의 문제점과 유통코스트 절감의 요청에 의해 등장한 개념이 유닛로드 시스템이고 이를 실무에서 실체화 시킨 것의 하나가 컨테이너이다.

컨테이너는 물류비의 절감방안으로 고안된 것이므로 이것의 취급비용은 물류비의 대부분을 차지한다. 특히 수출 화물들은 대부분이 컨테이너로 운송됨으로써 수출가격에서 차지하는 물류비용이 각국의 물류 인프라 및 물류시스템에 따라 차이가 발생하여 수출경쟁력에 지대한 영향을 미치고 있다.

<표 2-1> 우리나라 수출기업의 수출액대비 물류비

(단위:%)

구분	운송비				보관비	하역비	통관비	포장비	물류 정보비	합계
	국내 운송비	국제 운송비	해상 보험	물류관 련세금						
물류비	3.0	5.4	0.5	0.8	1.7	1.7	0.8	2.1	0.5	16.5
점유율	18.2	32.7	3.0	4.8	10.3	10.3	4.8	12.7	3.0	100.0

<표 2-1>에 나타나 있는 물류비의 항목들을 보면 그 비율이 전체 수출액의 16.5%로 상당히 높은 것을 알 수 있다. 이러한 물류비의 구성 항목들 중 내륙 운송비용, 터미널비용, 해상운임 등에 대하여 상세히 알아보면 내륙운송비용의 경우 화주가 수출화물의 출하지에서 선적항까지 운송하는데 발생하는 비용을 내륙운송업자에게 지불하는 것으로 아래의 <표 2-2>와 같은 운임으로 운영되고 있다.

<표 2-2> 운송수단별 내륙운송운임

(단위: 원)

구 분	20ft			40ft		
	공로	철도	해송	공로	철도	해송
상 행	376,450	377,874	400,450	482,500	549,411	475,500
하 행	376,450	482,500	340,450	482,500	549,412	420,500

자료: 한국관세협회

컨테이너 부두에서 발생하는 비용으로 수출 컨테이너화물의 하역과 관련하여 부과하는 터미널하역료(THC)는 40ft 컨테이너 기준으로 북미수출 13만 7천원, 유럽수출이 13만 6천원을 징수하고 있으며, 부두사용료는 운임톤(R/T)당 192원을 징수하고 있다(<표 2-3>참고).

<표 2-3> 주요 수출입항로별 터미널하역료 현황

(단위: 원)

구 분	북미항로		유럽항로	
	수 출	수 입	수 출	수 입
20ft	101,000	101,000	100,000	100,000
40ft	137,000	137,000	136,000	136,000

자료: 한국해양수산물개발원(KMI)조사자료

해상운임은 수출지역의 선적항에서 수입지의 양하항까지 선박으로 운송하는 비용으로 수출업자가 선사에게 지불하게 되는데 일반적으로 컨테이너 단위당 일정운임을 적용하고 있다. FCL 화물의 경우 선적되는 화물의 양과는 관계없이 20ft 혹은 40ft 컨테이너 개수로만 산정되어 Box Rate를 적용하고 있다. 수출절차에 관계되는 물류의 범위가 위와 같은 까닭에 이를 전문으로 하는 업종들이 늘고 있다.

2.2 CFS에서의 컨테이너 적재 현황

자사의 물류조직보다 포워딩업체나 수출물류전문업체에 대한 물류 아웃소싱을 통해 수출물류업무를 처리하고 있는 수출업체의 비율이 2000년 49.6%에서 해마다 증가하고 있는 실정이다. 수출기업의 물류활동은 포워딩업체나 수출물류전문업체를 선정하거나 선사·항공사, 수송업체 또는 하역업체를 선정하는데 그들의 업무 범위를 두고 있다. 다시 말해 수출과 관련된 모든 업무가 자사에서 이루어지는 것보다 위탁하여 처리하는 업체가 대부분이라는 것이다. 수출물량의 50%이상을 포워딩업체에 위탁하여 처리하는 수출업체가 전체 조사대상업체의 73.8%에 달하는 것으로 나타나고 있다(<표 2-4>참고).

<표 2-4> 포워딩업체에 대한 위탁물량 비중

(단위: 원)

		100% (완전위탁)	50~100% 미만	50% 미만	0% (전량자체처리)
전 체		43.2	30.6	18.8	7.4
수출실적	중소하주	45.9	31.6	15.4	7.2
	대하주	33.6	27.1	30.8	8.4

자료: 한국산업연구원, 2000

따라서 수출업무를 위탁받은 포워딩업체는 컨테이너 적재작업을 주로 CFS에 위탁하여 처리하므로, 컨테이너 적재작업의 대부분이 CFS에서 이루어지고 있다고 볼 수 있다.

CFS에서의 컨테이너 작업은 작업장마다 다른 기준을 사용하고 있으나, 보통 하루기준 8시간에서 10시간 정도를 작업한다. 다음은 CFS에서의 컨테이너 작업현황이다.

<표 2-5> CFS 컨테이너 작업 현황

		20ft		40ft	
처리비용(원)		101,720		203,420	
작업시간(분)		PLT화물	인력화물	PLT화물	인력화물
		10	30~40	20	50~60
인건비 (원/월)	일용직	30,000(일)		50,000(일)	
	노무원	2,386,550			
	지게차	2,156,953			
작업인력(명)	PLT화물	검수원 1명, 지게차 1대			
	인력화물	검수원 1명, 노무원 2~3명			

CFS에서의 작업은 중량물의 경우 지게차를 이용하며, 박스타입의 규격화물은 인력에 의해 수행되고 있다. 박스타입의 화물은 팔레트위에 적치하고 랩으로 고정시켜 중량물로 만든 다음 지게차를 이용할 수 있다. 이렇게 중량물로 만드는 작업이나 작업 전의 적재 planning 역시 담당자에 의해 수작업으로 수행되고 있다. 그러나 중량 혹은 위치상의 문제 등으로 컨테이너 재취급이 발생하거나 수작업으로 인한 작업시간의 증가 문제가 있다. 이러한 경우에는 추가적인 작업비와 인건비가 소요되므로 이는 물류비의 증가를 가져온다. 따라서 이 역시 효율적인 컨테이너 적재방법이 요구되는 부분이다.

2.3 선행연구의 고찰

컨테이너 적재문제에 대한 중요성을 인식하기 시작하면서 많은 관련 연구들이 수행되었다. 선형의 형상을 가진 사물의 배치문제를 1차원, 평면상에서의 사물의 배치문제를 2차원이라고 한다면 컨테이너 적재문제의 범주는 3차원 문제로 분류될 수 있으며 이는 공간의 활용에 관한 문제이다.

초기의 연구들은 유닛로드 시스템의 대표적인 팔레트와 컨테이너 적재문제에 대해 1차원, 2차원의 비교적 단순한 해법연구를 주로 수행하였다. 그러나 최근 5년간 좀 더 복잡하지만 실제 *factor*들을 반영한 3차원 상에서의 해법연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 관련분야의 연구현황을 살펴보면 다음과 같다.

적재 대상이 되는 화물의 형태에 있어, 초기연구에서는 소량의 동일한 크기의 박스형태 화물을 *Bin*에 적재하는 문제로서 수행되었으나, 소비자 요구에 따른 제조형태가 다품종 소량화 되어짐에 따라, *Miki et al.*[22]은 동일품목 뿐만 아니라 다품종의 화물적재에도 활용이 가능한 최적해법을 제약식을 이용하여 표현하였으며, *Kang and Park*[17]은 다양한 크기의 *BP*문제를 다루는데 있어 비용최소화를 목적으로 하는 이산형 최적화알고리즘을 제안하였다. 또, *Xing*[24]은 가장 큰 *Bin*의 크기보다 더 큰 상품을 취급하는 문제와 다양한 크기의 품목을 적재하는 문제를 다루는 등 상이한 크기의 화물이나 대량의 화물을 *Bin*이나 컨테이너와 같은 대규모의 직사각 형상에 적재하는 방안에 대한 연구를 수행하였다.

적재 알고리즘에 있어, 초기연구에서는 3차원 적재문제로의 접근에 정확한 탐색을 위해 *Martello et al.*[21]가 시도하였으며, 1차원 절단공정문제와 *Bin Packing*문제를 위한 선형계획법(*Linear Programming*) 모델이 *J.M. Valério*[18]에 의해 제시되어 연구되었다. 그리고 *PLP*해법에 있어 *Branch and Cut*알고리즘을 이용하여 0-1 식을 제안한 *Alvarez et al.*[10]등이 있었으나 대부분의 연구들은 단순한 선형계획법이나 정수계획법에 의한 해법연구를 시도

하였다.

최근에 들어 많은 연구기법들이 개발되면서 휴리스틱 기법을 이용한 보다 복잡하지만 정확도가 높은 방안들이 제시되면서 메타휴리스틱 혹은 하이브리드 기법을 이용한 *GA*, *TS* 등의 해결방안들이 제시되고 있다. *Bortfeldt et al.*[12]는 상이한 크기의 박스를 하나의 컨테이너에 적재하는 문제를 *Hybrid Genetic Algorithm*을 이용하여 표현하였고, *Lodi et al.*[19],[20]은 3차원 적재 문제를 타부서치(*Tabu Search*)프레임에 휴리스틱 기법을 적용한 새로운 알고리즘을 고안하여 해결하려 하였다. 또한, 그들은 2차원 *BP*문제의 최근진보에 대해 조사하여 효과적인 탐색적·수학적 접근을 통한 명확한 알고리즘을 강조하였다.

그러나 이러한 수리적 모델이나 탐색적 알고리즘은 문제의 최적해는 보장해 줄 수 있지만, 화물의 양이 많아짐에 따라 현실성 있는 경제적 시간 내에 해를 제공하지는 못한다는(*NP-hard*) 문제점이 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 제시된 알고리즘의 타당성을 검토하는 방안으로 시뮬레이션을 이용하면서 좀 더 빠른 해 찾기 방법이 연구되어지고 있다. *G and Kang*[25]는 2차원 *PLP*문제를 다루면서 복잡성이 낮고 빠른 시간 내에 해를 찾는 새로운 휴리스틱 알고리즘을 제안하고 고안된 5-block 구조를 이용하여 6800개 이상의 박스화물을 적재하는데 아주 짧은 시간이 걸렸음을 증명하였다.

이 밖에도 황[7]등은 3차원 컨테이너 적재문제를 다루는데 있어 적재되는 화물의 규격을 상이한 박스형태로 규정하고 적재효율 및 하중분포균형화를 고려한 컨테이너 적재 기법을 제시하였으며, 산업체 활용이 가능한 프로그램 개발을 시도하였다. *Alvarez et al.*[11]은 타부서치 알고리즘을 이용하여 *PLP*로의 접근을 화물의 블록단위 이동을 시도하여 행하였고, 이를 통해 컴퓨터 시뮬레이션으로 단시간에 해를 찾는 데 성공하였다.

Chan and Tan[13]은 반복적인 접근을 통해 복잡한 3차원 문제를 최소한의 경제적 박스를 결정하여 간소화 시켜나가는 방식을 통해 해결하고자 하였으며, *Hartmann*[16]은 *Packing*문제와 *Project Scheduling*문제를 함께 다루어 그

들의 수학적 구조의 유사성을 조사하였다. Adam and Amaral[9]는 PLP의 4-bound 비교를 통해 *upper bound*를 분석하였다. 이를 통해 *packing bound*와 *upper bound*의 활용도를 도출해내었다.

팔레트 및 컨테이너 적재의 최적해법을 찾기 위한 많은 연구들이 수행되어 왔다. 그러나 적재문제를 배치문제의 연장선상에서 인식하여 공간적 문제를 평면상에서 해결하려 한 점은 실효성 및 적재효율이 떨어진다는 문제가 있다. 또한 공간을 고려하고 다양한 크기의 화물을 고려한 알고리즘에 있어서도, 대상을 고려하는데 있어 한계점이 있다. 대부분의 연구가 단순히 하나의 컨테이너 혹은 *Bin*을 대상으로 하여 화물을 적재하는 방안만을 제시하고 있어 정해진 화물을 적재하는데 얼마나 많은 컨테이너가 필요하며, 이러한 필요 컨테이너 개수를 최소화 시킬 수 있는 방안에 대해서는 고려되지 않고 있다.

제 3장 3차원 컨테이너 적재 알고리즘

3.1 가정 및 기본사항

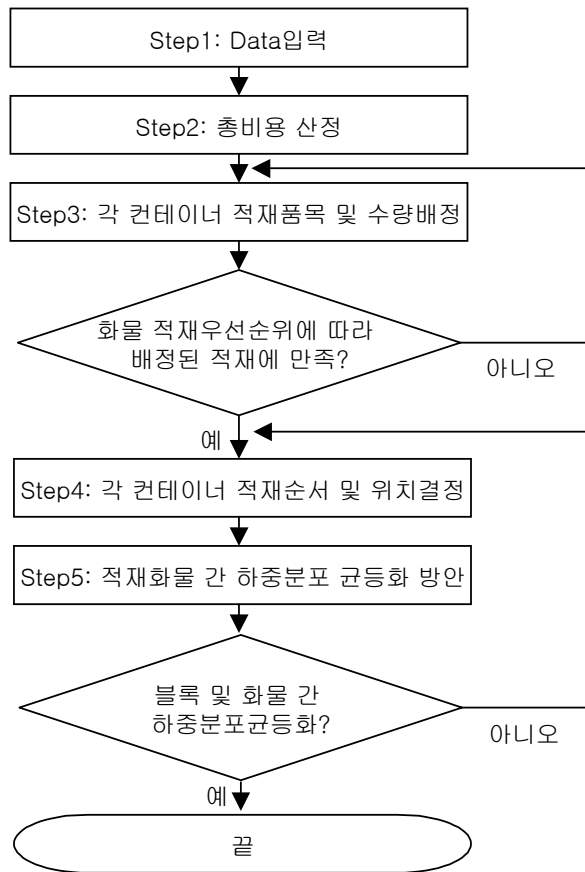
수출·입 컨테이너 화물의 경우, 소규모 화물의 취급은 수출·입 화물 포워딩 업체에 의뢰하여 여러 화주의 화물을 일괄적으로 다루고 있다. 또한, 대규모 화물을 수출·입하는 경우는 자사 제품창고에서 화물을 직접 컨테이너에 적재하고 있다. 전자의 경우는 화주별 화물의 우선순위를 부여할 수 있으며, 후자의 경우는 제품별 또는 제품내의 단위 그룹별로 우선순위를 부여할 수 있다.

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, 팔레트로서 구체적으로 분류하며 박스의 경우는 팔레트 적재를 행함으로써 적재 공간 효율성을 높이며 상적 허용 화물 및 상하회전 화물 등을 구분하여 다루도록 하였다.

본 연구는 다음과 같은 가정 하에 진행한다.

- (A1) 화물 적재단위는 개별박스, 팔레트로 분류한다.
- (A2) 팔레트는 표준 팔레트를 이용하며 특수한 경우는 예외로 한다.
- (A3) 박스 종류 및 규격은 사전에 정해진다.
- (A4) 팔레트 높이는 제한되며 최대 2단 적재만 허용한다.
- (A5) 박스 위의 팔레트 적재는 허용하지 않는다.
- (A6) 팔레트의 상하회전은 허용하지 않는다.
- (A7) 박스는 상적을 기본 원칙으로 하되, 특별히 금지하는 경우도 있다.
- (A8) 모든 화물은 외적을 허용하되, 특별히 금지하는 경우도 있다.

본 장에서는 컨테이너 적재를 위해 탐색적 기법을 이용하였으며, 알고리즘의 개괄적인 흐름은 다음의 <그림 3-1>과 같이 나타난다.



<그림 3-1> 알고리즘의 개괄적 흐름

3.2 데이터 입력

본 연구에서 입력될 데이터로서 컨테이너는 표준규격에 의한 것으로 20ft, 40ft를 대상으로 한다. 각 화물은 규격 및 중량을 기본 데이터로 다루며 팔레타이저 하는 경우 팔레트의 종류와 팔레트 내에 적재될 최대 및 최소 단수를 입력한다.

이러한 데이터에 의해 화물을 팔레타이저 할 경우 최대 및 최소 단적 시의 높이의 범위가 산출된다. 또한 박스 단위의 화물 규격 및 중량에 의해서 순수 총체적 비율 및 순수 총중량 비율을 계산한다. <표 3-1>는 입력되는 데이터들의 상세내용을 나타낸다.

<표 3-1> 상세 입력 데이터

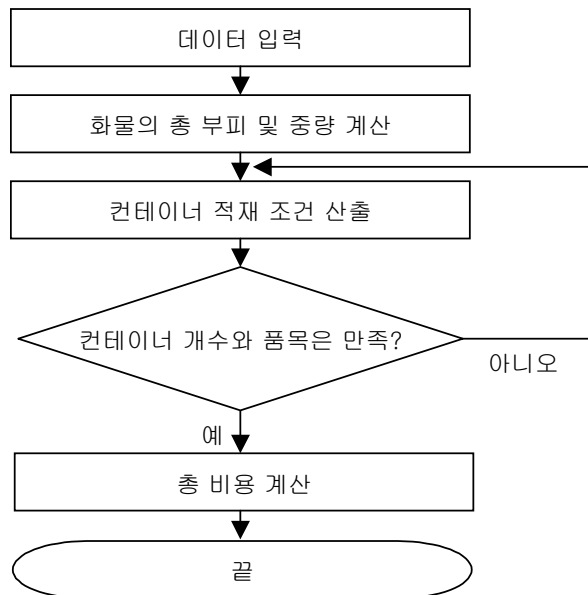
데이터	내용
화물데이터	가로, 세로, 높이, 중량, 외적여부, 상적여부, 회전여부
컨테이너 데이터	가로, 세로, 높이, 중량
팔레트 데이터	가로, 세로, 높이, 중량, 상적 가능 단수
비용 데이터	컨테이너비, 팔레트비, 하역비용, 컨테이너세, 국내운송비, 해상운임/부대비, 통관비용

3.3 총비용산정 모델

본 절에서는 연구의 기본가정을 포함하여 다음과 같은 비용에 관련된 가정을 추가한다.

- (A9) 컨테이너는 임대사용을 원칙으로 한다.
- (A10) 컨테이너의 비용은 컨테이너 크기에 따른 비용, 수송비용, 취급비용을 포함하며 장치장 또는 야드 내의 보관비용은 포함시키지 않는다.
- (A11) 팔레트 취급비용은 고려하지 않는다.
- (A12) 화물의 적재 우선순위는 반드시 적재해야 하는 화물과 그렇지 않은 화물로서 분류하며, 화물의 개수에서도 반드시 적재해야 하는 화물과 그렇지 않은 화물로 분류하여 총 4가지 등급에 기초한다.

다음의 <그림 3-2>에 본 모델의 흐름도가 나타나 있다.



<그림 3-2> 총비용산정 모델의 상세 흐름도

총비용산정모델은 최소비용적재원칙을 따르며, 이 원칙은 다음의 상세한 단계로 수행된다.

- 1단계: 적재해야 할 화물의 총 부피 및 총 중량을 계산한다.
- 2단계: 컨테이너 종류 및 개수를 이중 For문을 통하여 증가시키면서, 1단계에서 계산된 총 부피 및 중량을 만족하는지를 검사한다. 만족하는 경우는 컨테이너 종류 및 개수를 별도로 저장해둔다.
- 3단계: 2단계의 계산 결과인 컨테이너 종류 및 개수를 이용하여, 컨테이너 총비용을 계산한다(식(5) 참조).
- 4단계: 컨테이너 총비용을 목록에 첨부시킨다.
- 5단계: 목록 중에서 최소비용에 해당되는 컨테이너 종류 및 개수를 선정한다.

위의 단계를 따르면 먼저, 모든 수주 화물의 부피 및 중량을 더하여 화물의 총부피 및 총중량을 계산한다. 이때, 팔레트는 수주 화물에서 팔레타이저화 가능한 개수로 정하여 계산한다. 이 모델은 다음의 식으로 나타난다.

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

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

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.

\widetilde{W}_T : 각 컨테이너에 적재 가능한 총 무게

\widetilde{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.

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

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

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

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

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

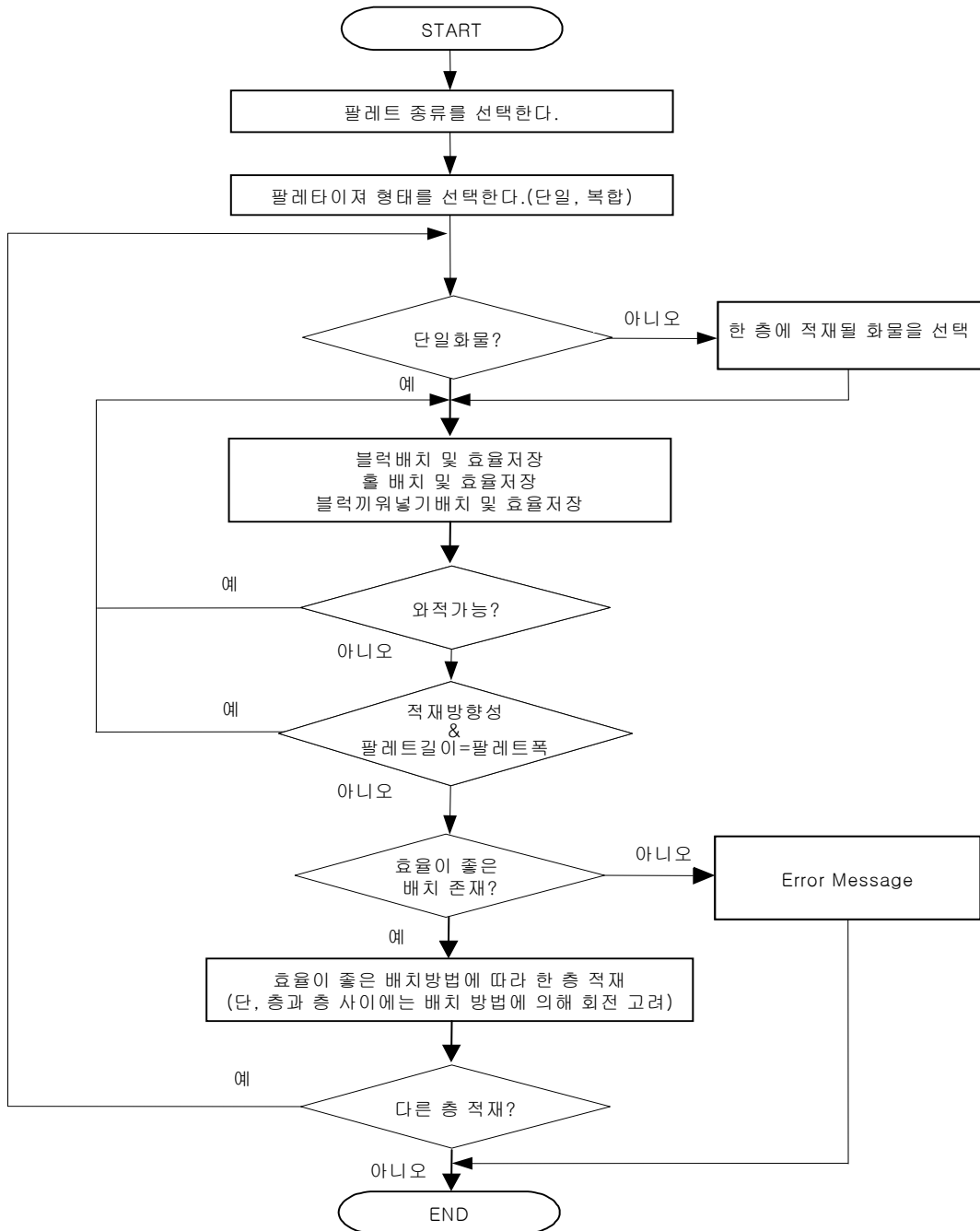
마지막 단계로 총 컨테이너의 유효 공간에 대한 총 화물의 적재 공간 비율을 나타내는 총 컨테이너의 유효 공간 이용 비율을 산출하는데, 컨테이너 유효 공간 이용비율 D_e 는 다음과 같이 계산된다.

$$D_e = \frac{D_T}{\tilde{D}_T} \quad (7)$$

3.4 팔레타이저

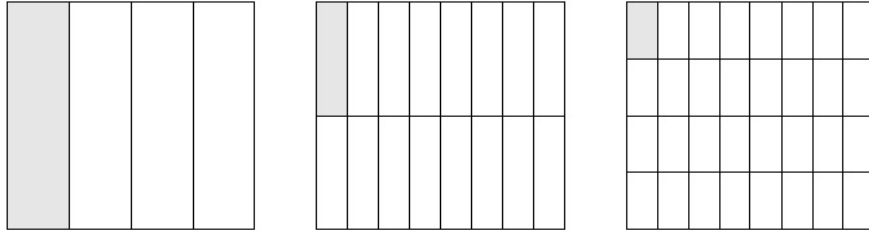
팔레타이저는 총비용산정 모델에서 컨테이너 적재 비용에 따른 최적의 컨테이너 종류 및 개수가 정해지고 난 뒤, 적재루틴이 실행되기 전 단계에서 수행되며 팔레타이저화 된 화물들은 하나의 화물로 간주된다.

팔레타이저에 대한 대략적인 흐름은 다음의 <그림 3-3>와 같다. 또한 일반적인 팔레타이저 방법은 아래의 <그림 3-4>과 같은 3가지를 이용하는 것이다. 이는 동일 품목에 대한 것으로서 각 층에 대한 배치방법을 나타내고 있다.

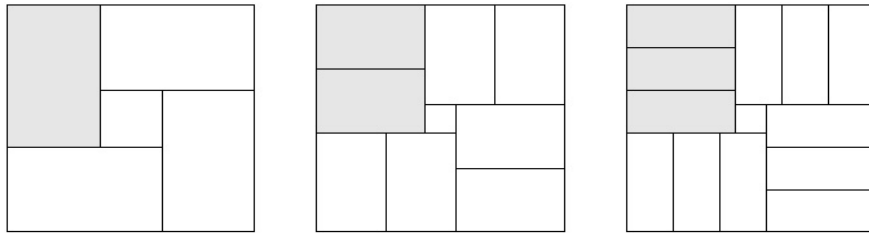


<그림 3-3> 팔레타이저의 상세 흐름도

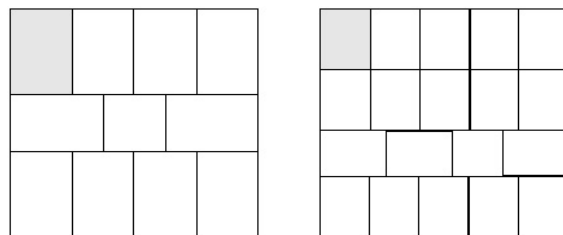
1) 블록배치



2) 편출배치



3) 블록끼워넣기 배치



<그림 3-4> 팔레타이저 방법

위에 제시된 3가지 방법에 기초하여 팔레타이저 방법에 대한 구체적인 알고리즘을 나타내고자 한다. 먼저, 주의해야 할 사항은 다음과 같다.

<주의사항>

1) 위의 3가지 방법 중, 블록배치 및 블록끼워넣기 배치에서는 팔레트의 가로 및 세로 길이가 동일한 경우에는 한 층을 쌓고 다음 층에 쌓는 경우 층과 층 사이를 90° 회전시켜 적재하는 것이 바람직하며, 핀홀배치에 있어서는 180°를 회전시켜 적재하는 것이 바람직하다.

팔레타이저 알고리즘을 위한 변수는 다음과 같이 정의된다.

W : 팔레트 폭

L : 팔레트 길이

α : 한쪽 변에 대한 최소 및 최대 여유길이

w : 화물의 폭

l : 화물의 길이

각 배치 방법별 알고리즘은 다음과 같다.

1) 블록배치 알고리즘

① 팔레트 길이, 폭 방향에 적재 가능한 화물의 최소 및 최대 개수를 구한다.

- 길이방향 최소 개수: $No_{sL} = \text{int} \{ (L - 2\alpha) / w \}$

- 길이방향 최대 개수: $No_{mL} = \text{int} \{ (L + 2\alpha) / w \}$

- 폭 방향 최소 개수: $No_{sW} = \text{int} \{ (W - 2\alpha) / w \}$

- 폭 방향 최대 개수: $No_{mW} = \text{int} \{ (W + 2\alpha) / w \}$

② 길이방향 최소 개수 No_{sL} 과 최대 개수 No_{mL} 이 같으면 $No_L = No_{sL}$ 로 한다. 만일 다르면, $No_L = No_{mL}$ 로 한다. 또한, 폭 방향 최소 개수 No_{sW} 과 최대 개수 No_{mW} 이 같으면 $No_W = No_{sW}$ 로 한다. 만일 다르면, $No_W = No_{mW}$ 로 한다.

③ 팔레트의 면적을 여유길이를 포함한 최소 및 최대 면적을 계산한다.

$$P_{sS} = (W - 2\alpha) \times (L - 2\alpha), \quad P_{mS} = (W + 2\alpha) \times (L + 2\alpha),$$

- ④ 화물의 1단 배치 면적을 계산한다.

$$U_S = (lw) \times (\text{No_L} \times \text{No_W})$$

- ⑤ 배치 효율을 계산하여 저장한다.

$$\text{eff_sBL} = U_S/P_sS, \text{eff_mBL} = U_S/P_mS$$

2) 편홀배치 알고리즘

- ① 화물의 면적 및 팔레트 면적을 계산한다.

$$U_S = wl, P_sS = (W - 2\alpha) \times (L - 2\alpha), P_mS = (W + 2\alpha) \times (L + 2\alpha),$$

- ② 팔레트의 사등분에 들어갈 수 있는 최대 화물 개수를 구한다.

$$\text{count} = \text{int} \{ P_mS / U_S \}$$

- ③ count = 0

다음단계에서는 소규모 블록화 절차로써 연속블록방법에 적용되는 절차이다.

- ④ ②에서 구한 count값을 하나씩 감소시키면서 아래의 ⑤-⑦루틴을 반복한다.

⑤ $(W - \alpha) \leq \text{count} \times w + l \leq (W - \alpha)$ or $(W - \alpha) \leq \text{count} \times l + w \leq (W - \alpha)$

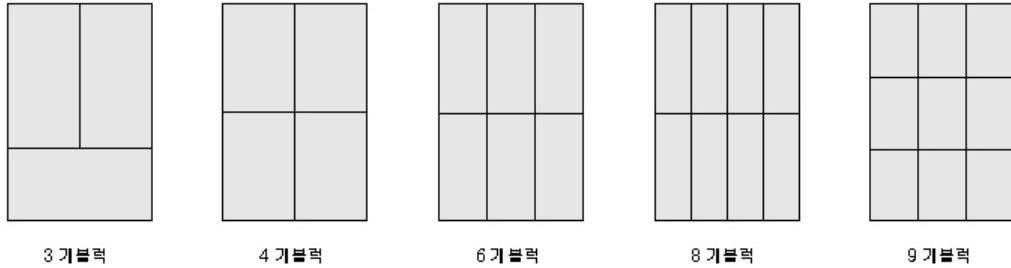
⑥ 또는 $(L - \alpha) \leq \text{count} \times w + l \leq (L - \alpha)$ or $(L - \alpha) \leq \text{count} \times l + w \leq (L - \alpha)$

- ⑦ 위의 조건이 만족되는 화물의 개수에 대해 면적효율을 계산하여 저장한다.

$$\text{eff_sBL} = U_S \times (\text{count}) / P_sS, \text{eff_mBL} = U_S \times (\text{count}) / P_mS$$

단블록방법은 다음의 조건검색 절차를 거쳐 시행된다.

- ① if - then의 아래의 조건을 만족하는지 검사하여, 만족하는 경우 효율을 저장한다.



<그림 3-5> 단블록의 경우의 수

② *If - then sentence*

If $(W - \alpha) \leq 3w + l \leq (W - \alpha)$ or $(W - \alpha) \leq 3l + w \leq (W - \alpha)$, *then* 3block

If $(W - \alpha) \leq 2w + 2l \leq (W - \alpha)$ or $(W - \alpha) \leq 2l + 2w \leq (W - \alpha)$, *then* 4block

If $(W - \alpha) \leq 3w + 2l \leq (W - \alpha)$ or $(W - \alpha) \leq 3l + 2w \leq (W - \alpha)$, *then* 6block

If $(W - \alpha) \leq 4w + 2l \leq (W - \alpha)$ or $(W - \alpha) \leq 4l + 2w \leq (W - \alpha)$, *then* 8block

If $(W - \alpha) \leq 3w + 3l \leq (W - \alpha)$ or $(W - \alpha) \leq 3w + 3l \leq (W - \alpha)$, *then* 9block

3) 블록끼워넣기배치 알고리즘

다음의 조건검색 절차를 따른다.

① *if - then*의 아래의 조건을 만족하는지 검사하여, 만족하는 경우 효율을 저장한다.

② *If - then sentence*

If $(W - \alpha) \leq 4w \leq (W - \alpha)$ and $(L - \alpha) \leq 2l + w \leq (L - \alpha)$, *then* (A)

If $(W - \alpha) \leq 5w \leq (W - \alpha)$ and $(L - \alpha) \leq 2l + w \leq (L - \alpha)$, *then* (B)

If $(W - \alpha) \leq 5w \leq (W - \alpha)$ and $(L - \alpha) \leq 3l + w \leq (L - \alpha)$, *then* (C)

If $(W - \alpha) \leq 3l \leq (W - \alpha)$ and $(L - \alpha) \leq l + 3w \leq (L - \alpha)$, *then* (D)

If $(W - \alpha) \leq 4l \leq (W - \alpha)$ and $(L - \alpha) \leq l + 4w \leq (L - \alpha)$, *then* (E)

If $(W - \alpha) \leq 2l \leq (W - \alpha)$ and $(L - \alpha) \leq l + 3w \leq (L - \alpha)$, *then* (F)

If $(W - \alpha) \leq 4w \leq (W - \alpha)$ and $(L - \alpha) \leq 2l + w \leq (L - \alpha)$, *then* (G)

If $(W-\alpha) \leq 3w \leq (W-\alpha)$ and $(L-\alpha) \leq 2l+w \leq (L-\alpha)$, then (H)

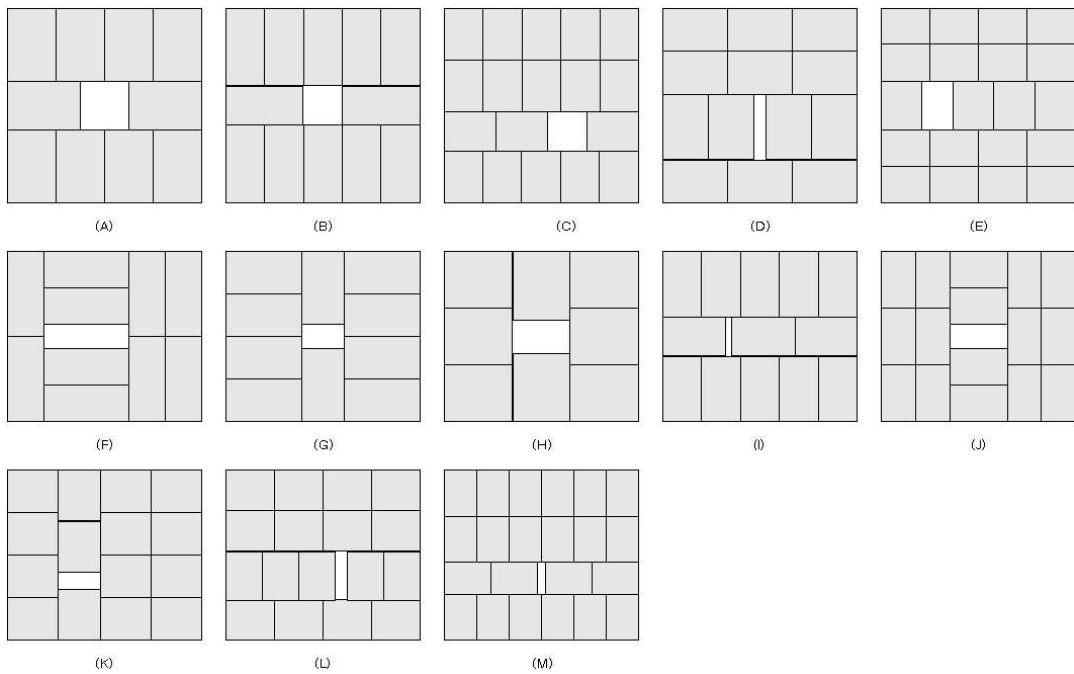
If $(W-\alpha) \leq 5w \leq (W-\alpha)$ and $(L-\alpha) \leq 2l+w \leq (L-\alpha)$, then (I)

If $(W-\alpha) \leq 3l \leq (W-\alpha)$ and $(L-\alpha) \leq l+4w \leq (L-\alpha)$, then (J)

If $(W-\alpha) \leq 4w \leq (W-\alpha)$ and $(L-\alpha) \leq 3l+w \leq (L-\alpha)$, then (K)

If $(W-\alpha) \leq 4l \leq (W-\alpha)$ and $(L-\alpha) \leq l+3w \leq (L-\alpha)$, then (L)

If $(W-\alpha) \leq 6l \leq (W-\alpha)$ and $(L-\alpha) \leq 3l+w \leq (L-\alpha)$, then (M)



<그림 3-6> 블록끼워넣기배치의 경우의 수

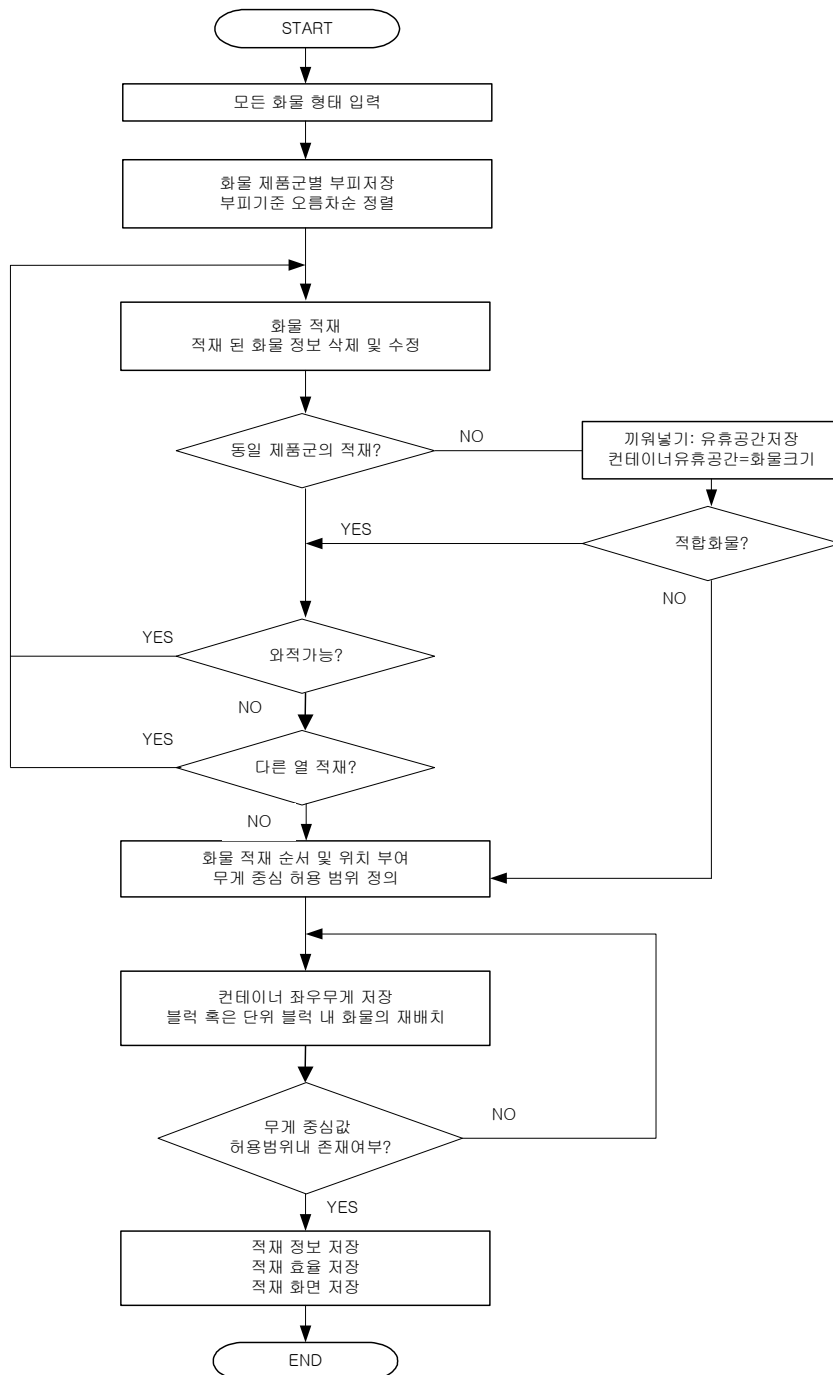
3.5 컨테이너적재 모델

본 절에서는 총비용산정 모델에서 얻어진 결과로 컨테이너 적재 품목 및 수량을 배정해야 하며, 이 경우 적재 품목의 우선순위 결정이 선행되어야 한다. 적재 우선순위 등급은 가정 (A12)에 의해 결정되며, 화물 간에는 긴급과 보통으로 나뉘며, 화물내의 개수에 있어서도 긴급과 보통으로 나뉘어 총 4등급으로 분류된다(<표 3-2>참조).

<표 3-2> 적재우선순위 등급의 분류

화물순위	화물 내 개수순위	총 순위
긴 급	A급	T1-아주긴급
	B급	T2-긴급
보 통	A급	T3-빠름
	B급	T4-보통

본 절의 컨테이너적재 모델과 다음절의 하중분포균등화 모델은 <그림 3-7>과 같은 흐름도에 따라 수행된다.



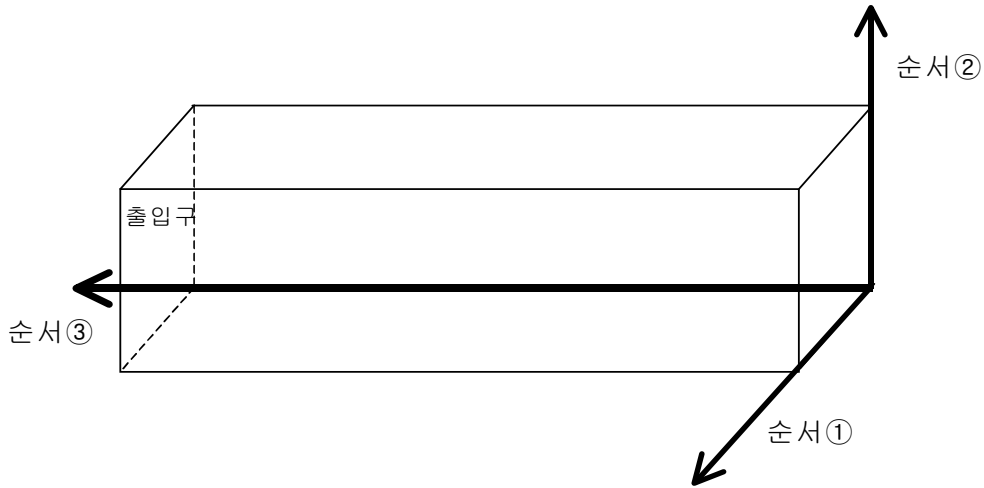
<그림 3-7> 컨테이너적재 및 하중분포균등화 모델의 상세 흐름도

컨테이너적재 모델에 있어 주요 적재방법인 블록화와 끼워넣기원칙은 다음과 같이 설명된다.

1) 블록화

적재우선원칙은 화물의 전체 부피가 큰 종류의 화물을 우선적으로 적재하는 것으로 한다.

- ① 적재해야 할 화물 리스트에서 동일제품군별로 전체 부피를 계산하여 오름차순으로 정렬한다.
- ② ①의 순서대로 화물을 컨테이너에 적재한다. 이때, 적재위치는 <그림 3-8>에 나타나있는 바와 같이 컨테이너 출입구 반대쪽 면의 가장자리부터 세로방향으로 적재를 시작하여, 높이가 허용되면 단을 바꾸어 높이방향으로 적재를 하고, 가로길이가 허용되면 열을 바꾸어 가로방향으로 적재루틴을 반복하여 수행한다.
- ③ 일차적으로 동일제품군의 화물들을 컨테이너 허용 규모까지 적재하고나면, 적재된 화물들은 목록에서 삭제한다.
- ④ ③까지의 과정이 끝나고, 컨테이너 내의 적재 허용부피와 허용중량이 만족되지 않으면, 일차적으로 적재된 화물들의 앞 측면과 상부면의 적재를 시행한다. 이는 끼워넣기원칙을 참조한다.



<그림 3-8> 컨테이너 적재위치 및 적재방향

2) 끼워넣기 원칙

모든 화물의 컨테이너 내 적재 기본원칙은 최대한 유닛로드화 시키는 것이다. 공간이 허용되는 한, 공간에 부합하는 적합한 화물을 찾아 적재한다.

- ① 일차 적재가 끝난 후, 앞 측면과 상부면의 허용공간을 산출한다(컨테이너 크기-적재된 전체화물 크기).
- ② ①의 결과를 만족하는 화물을 찾는다. 이때, 화물의 회전가능 여부에 따라 가능한 경우 가로, 세로, 높이 모두를 비교하여 가장 적합한 화물을 적재한다.

위의 원칙을 토대로 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.

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 않는 경우는 유사크기 위주로 배분하도록 한다.
- 2단계: 화물의 전체 부피가 큰 종류의 화물을 우선적으로 배정하며 나머지 공간에 가장 적합한 부피의 소규모 화물을 배정하도록 한다(끼워넣기원칙 따름). 이때, 나머지 공간이 차 순위의 부피가 큰 화물보다 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 시, 컨테이너 크기가 작은 사이즈부터 행하도록 한다.
- 4단계: 모든 컨테이너에 전체 화물을 배정하여 공간부족이 발생하는 경우에는 소규모 화물을 디팔레타이저 한 후, 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 이중 적재 또는 다중적재를 행하도록 한다.
- 2단계: 1단계에서 상적 금지 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 다중 적재를 행한 부분에 대해서는 유사한 높이에 이를 때까지 적재를 행하지 아니한다.
- 4단계: 3단계를 수행하는 경우 화물의 무게중심이 허용 한도 이상 벗어나지 아니하도록 적재를 행한다.
- 5단계: 4단계를 수행한 이후에는 박스 단위화물을 적합한 빈 공간에 배정한다. 이때 배정 원칙도 단계 1~4와 동일하게 행한다.
- 6단계: 5단계에서 배정되지 않은 박스 단위 화물이 존재하는 경우에는, 마지막 팔

레트 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 때까지 반복한다. 이때, 박스 단위 화물은 측방향 적재 및 횡적을 고려하도록 한다.

- 7단계: 6단계에서 모든 팔레트 화물을 디팔레타이저하여도 배정되지 않는 경우에는 상적 금지 화물이 지나치게 많거나 박스단위의 소규모 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 이용비율 D_{ej} 은 다음과 같이 계산한다.

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

여기서 D_{Tij} 와 \widetilde{D}_T 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.

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

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

3.6 하중분포균등화 모델

본 절에서는 컨테이너 하중 분포에 대한 균형화 모델에 관한 것으로서 우선 화물의 적재 순서 및 위치 결정에 관해서 다루도록 한다.

적재 순서 및 위치결정을 위해서는 컨테이너 적재품목 및 수량 배정에 의해 각 컨테이너에 배정된 화물에 대해서 화물의 무게 중심이 허용 범위 내에 위치하도록 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.

위의 원칙에 의해 재배정 단계는 다음과 같이 분류된다.

- 1단계 : 컨테이너 적재품목 및 수량 배정을 통해 배정된 화물에 대해서 컨테이너 무게중심을 산출한다.
- 2단계 : 컨테이너 내부를 팔레트 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 않으며, 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, 박스화물 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.

제 4장 시물레이션 및 고찰

4.1 시물레이션

본 장에서는 제안된 알고리즘의 유효성을 증명하기 위하여, Matlab S/W 프로그램을 이용하여 시물레이션을 수행하였다. 시물레이션 수행을 위해 컨테이너 데이터는 <표 4-1>에 나타난 바와 같이 ISO표준 규정을 따르도록 하였다. 여기서 고려된 컨테이너 취급비용은 지역 A에서 B로의 수송비용, 처리비용, 컨테이너 리스비용 등을 포함하는 것으로 간주하였다.

<표 4-1> 컨테이너 데이터

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

화물 데이터는 일반 적재화물의 크기 분포를 고려하여 랜덤하게 발생하였으며, 주문된 화물의 종류는 30가지로 한정하였다. 화물의 우선순위 또한 전체 화물수의 75%, 20%, 5%로 랜덤하게 발생시켰다. 마지막으로, 각 화물의 무게는 부피에 대한 비율로 가정하였다. <표 4-2>는 화물의 부피비율에 따라 오름차순으로 정렬된 데이터 목록이다. 본 논문에서 제안된 휴리스틱 알고리즘의 시물레이션을 위해서는, 주문된 화물 목록의 모든 화물을 적재하기 위해 필요한 컨테이너 개수선정 절차가 필요하다. 이는 비용산정을 통해 가장 경제적인 컨테이너 개수를 선택하도록 한다. 시물레이션에 따른 컨테이너 개수 선정결과는 <표 4-3>에 나타난 바와 같다.

<표 4-2> 화물 정렬 데이터 목록

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	28
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	0.18	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

<표 4-3> 비용에 따른 컨테이너개수 선정 순위

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

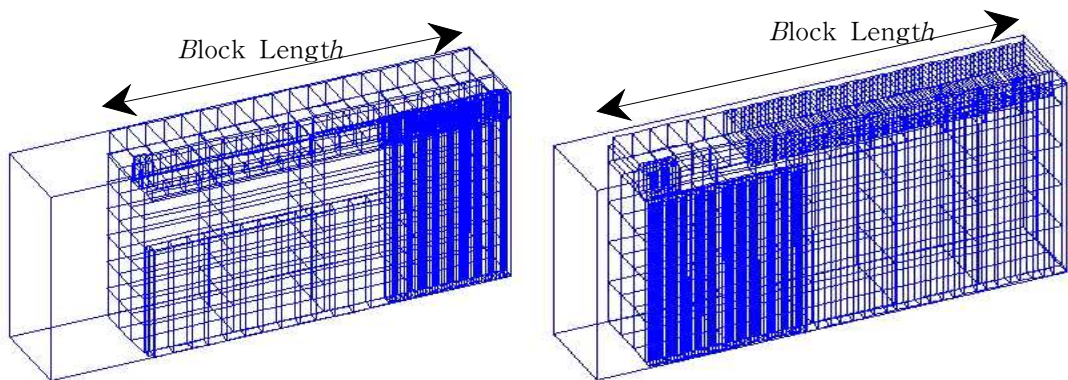
Rate.eff-space = capacity of Total loading freight/capacity of Total container
 Rate.eff-weight = weight of Total loading freight/weight of Total container

컨테이너에 화물을 적재 시, 가장 먼저 화물의 단위화 즉, 블록화 작업을 시행한다. 블록화에 의한 결과는 <표 4-4>에 나타나 있다.

<표 4-4> 형성된 블록 목록

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					

블록의 세로, 높이는 컨테이너의 세로, 높이 규격에 맞추어 한정되며, 가로는 40ft 컨테이너의 가로길이를 넘지 않는 것으로 정한다. 이에 따라 40ft 컨테이너에 적재된 블록을 도시화하면 <그림 4-1>과 같다.



<그림 4-1> 블록형성의 예

마지막으로 본 시뮬레이션의 결과는 <표 4-5>와 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 <표 4-5>의 블록 그룹들을 형성해 나간다. 본 시뮬레이션의 결과로부터, 제안된 휴리스틱 알고리즘의 실제 컨테이너 적재 작업에의 적용여부를 증명하였다.

<표 4-5> 각 컨테이너에 적재된 블록목록의 조합

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]

4.2 소프트웨어 프로그램의 개발

Matlab 프로그램을 이용하여 설계된 알고리즘을 토대로 산업분야에 활용이 가능한 적재 소프트웨어 프로그램인 Container Loader를 개발하였다. 본 연구에서 개발한 프로그램은 PC환경에서 이용 가능하도록 Microsoft Visual C++ 프로그램을 이용하여 개발되었다.

본 프로그램은 컨테이너와 팔레트 규격뿐만 아니라 적재될 화물데이터의 규격을 입력할 수 있는 입력 모듈, 팔레트 적재모듈, 컨테이너 적재모듈, 출력모듈로 구성되어있다.

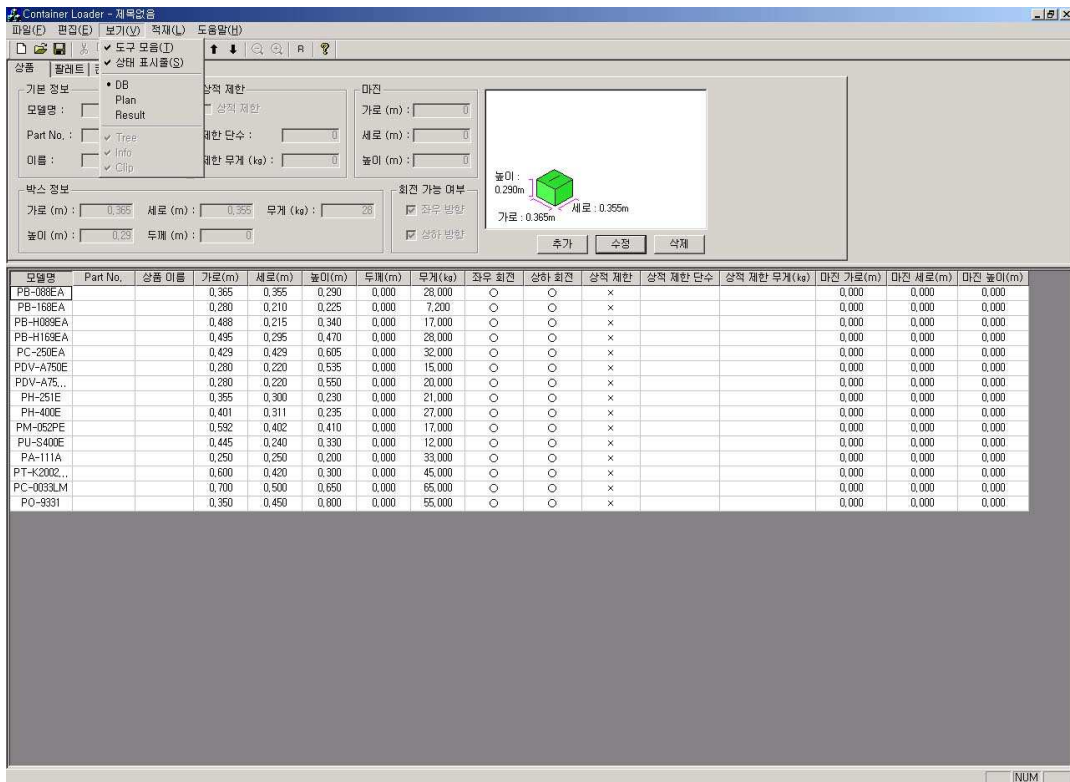
입력모듈에서는 컨테이너, 팔레트, 화물의 정보를 입력하여 DB를 구축할 수 있게 하였다. 이때, 입력된 값을 통해 실제 형상을 보여주어 사용자의 입장에

서 시각적으로 확인이 가능하도록 하였다.

적재모듈은 화물데이터 중 팔레트 적재 혹은 컨테이너 적재를 시행할 수 있도록 2가지 패턴으로 분류하였으며, 팔레트 적재 즉 팔레타이저 된 화물은 팔레타이저 된 단위가 화물정보로써 저장되도록 하였다.

출력모듈은 적재된 결과 및 화물정보를 출력하여 실제작업장에 전달될 수 있도록 하였다.

이러한 기능들을 수행하는 프로그램의 메인화면은 아래의 <그림 4-2>와 같다.



<그림 4-2> Container Loader의 메인 화면

4.3 프로그램 결과

□ 20 FT ■ 40 FT	컨테이너 장입도(1/3)	수출 국가	베트남	선적월	2003년 8월
		BUYER	M-MEX	작성일	2003년 8월 23일
사 시 도		주 기			
<p>장입무게: 25t 적재효율: 63%</p>		= 장 입 순 서 = 1) SPAREPART V1 (MOTOR) 7 PALLET 2) SPAREPART V2 (MOTOR) 7 PALLET 3) SPAREPART V3 (MOTOR) 2 PALLET 4) PW-175E (1000EA) 5) PW-175EA (300EA)			
장입무게가 고속도로 통행 기준을 초과하므로 반드시 국도 이용바랍니다.					

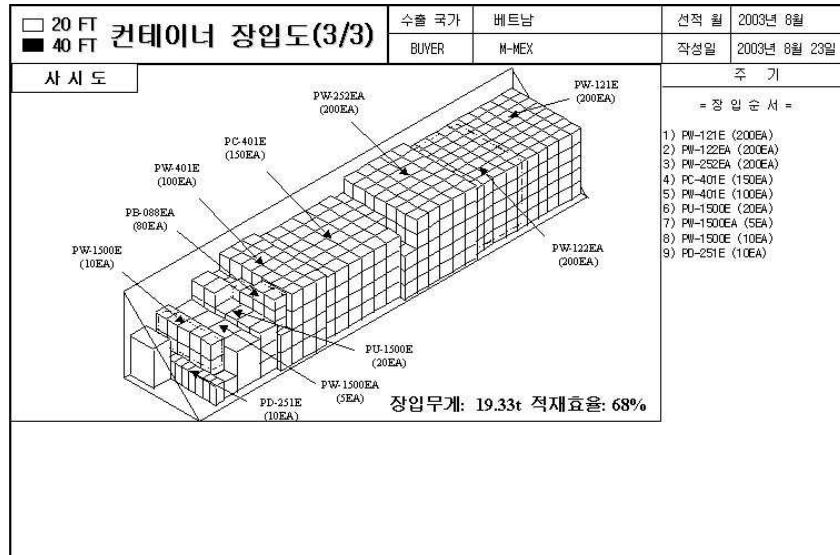
팜프 개발팀

<그림 4-3> A기업 적재 결과: 첫 번째 컨테이너

□ 20 FT ■ 40 FT	컨테이너 장입도(2/3)	수출 국가	베트남	선적월	2003년 8월
		BUYER	M-MEX	작성일	2003년 8월 23일
사 시 도		주 기			
<p>장입무게: 24.3 t 적재효율: 51%</p>		= 장 입 순 서 = 1) SPAREPART V1 6 PALLET 2) SPAREPART V2 12 PALLET 3) SPAREPART V3 4 PALLET 4) PU-401E (20EA) 5) PW-251E (280EA)			
CID DRYER BOX SPAREPART V1 : 11BOX SPAREPART V2 : 0BOX SPAREPART V3 : 8BOX					
장입무게가 고속도로 통행 기준을 초과하므로 반드시 국도 이용바랍니다.					

팜프 개발팀

<그림 4-4> A기업 적재 결과: 두 번째 컨테이너

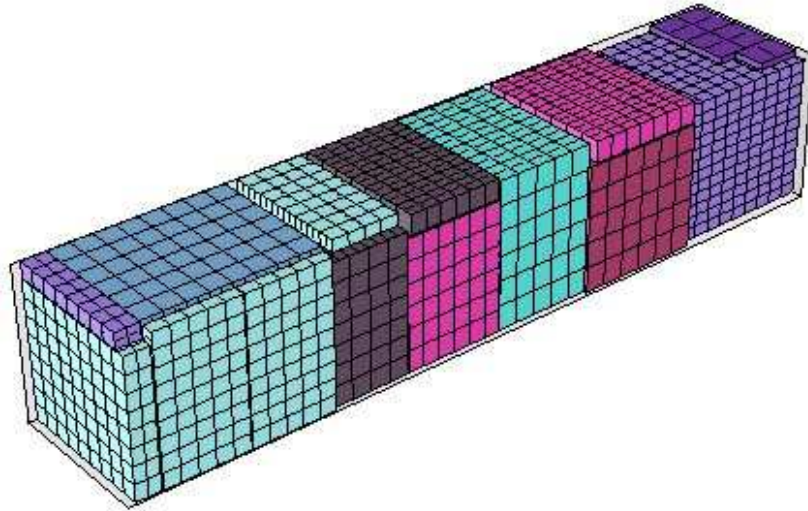


폼프 개발팀

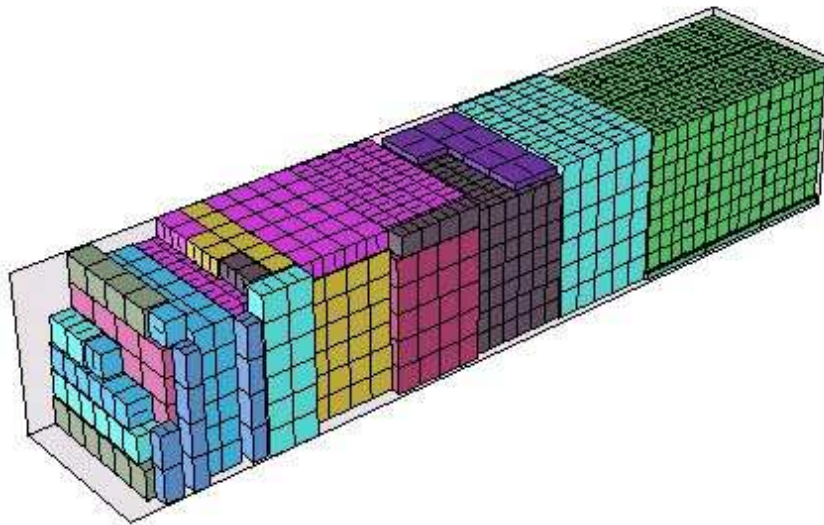
<그림 4-5> A기업 적재 결과: 세 번째 컨테이너

본 절에서는 수출용 모터를 취급하는 A기업의 컨테이너 적재방식을 본 연구에서 개발한 Container Loader 프로그램을 이용하여 얻은 결과와 비교하여 보았다. 실험에 이용된 입력 데이터는 <그림 4-3>~<그림 4-5>에 나타난 기업의 실제 데이터를 그대로 이용하였다.

Container Loader를 이용하여 얻은 적재 결과는 <그림 4-6>과 <그림 4-7>과 같이 나타내어진다. 기존 업체의 적재방식은 컨테이너 상부면에 많은 유휴공간을 두어, 낮은 적재효율을 보이고 있다. 그러나 본 연구에서 개발한 Container Loader 프로그램에서는 컨테이너 적재효율이 98%에 달하고 있다. 또한, 컨테이너 내부의 유휴공간을 최소화함으로써 사용되는 컨테이너의 개수를 감소시켰다. 기존 업체의 적재방식에서 3개의 컨테이너를 사용한 반면, 본 프로그램에서는 2개의 컨테이너를 사용하여 비용측면에 있어서도 좋은 결과를 보여주고 있다. 또한, 프로그램은 3차원 그래픽 표현을 통해 사용자가 이해하기 쉽도록 하였으며, 각 상품 종류별로 상이한 색으로 표현함으로써, 상품구별이 용이하도록 하였다.



<그림 4-6> Container Loader를 이용한 적재결과: 첫 번째 컨테이너



<그림 4-7> Container Loader를 이용한 적재결과: 두 번째 컨테이너

4.4 고찰

기업의 현 컨테이너 적재작업결과와 본 연구의 알고리즘에 따른 프로그램의 적재작업결과를 비교해 본 결과, 상부공간의 활용성을 높임으로써 적재효율이 더 좋아졌음을 알 수 있었다. 또한 적재화물의 양이 증가할수록 프로그램의 결과값이 좋게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 적재효율은 적재 컨테이너 개수가 선택된 뒤, 최대한 적재하는 방식을 취하므로, 마지막 컨테이너를 제외한 모든 컨테이너의 적재효율이 90%이상으로 평균 92%를 만족하고 있다. 반면에 A기업의 평균적재효율은 62.8%로 29.2%에 달하는 효율차이를 보이고 있다.

시간 면에 있어서도 Container Loader가 화물 양에 관계없이 5초 이내에 적재해법을 찾아내는데 비해 기존 A사는 적재 *planning* 작성을 누적작업에 의해 행하며 각 작업당 30~60분 정도로 많은 시간을 소요함을 알 수 있었다.

<표 4-6> 화물량의 증가에 따른 적재결과 비교

화물증가량 (배)	Container Loader		A기업	
	평균적재효율 (%)	컨테이너개수 (개)	평균적재효율 (%)	컨테이너개수 (개)
1	92.5	2	60.5	3
2	90.5	4	61.2	6
3	93.5	6	62.0	10
4	93.6	8	65.1	12
5	92.7	10	64.4	14
6	93.0	12	65.0	17
7	91.2	14	59.8	20
8	89.5	16	60.2	23
9	92.0	18	63.5	25
10	91.5	20	65.8	27
합계평균	92	-	62.8	-

또한 컨테이너 개당 작업시간이 아래와 같다면, 컨테이너 개수가 현저히 적은 Container Loader의 작업시간이 A기업의 작업시간보다 짧게 걸릴 것으로 예상된다. 따라서 적재효율 및 적재 planning 시간, 작업시간을 고려해 볼 때, 본 연구의 결과는 우수한 것으로 평가된다.

<표 4-7> A사의 작업시간 자료

(단위:분)

	20ft		40ft	
	PLT화물	인력화물	PLT화물	인력화물
적재작업시간	30	120	60	210
적재 Planning 작성 시간	30~60			

<표 4-8> 적재비용의 비교

	Container Loader		A기업		비용차액 (원)
	컨테이너개수 (개)	적재비용 (원)	컨테이너개수 (개)	적재비용 (원)	
1	2	406,840	3	610,260	203,420
2	4	813,680	6	1,220,520	406,840
3	6	1,220,520	10	2,034,200	813,680
4	8	1,627,360	12	2,441,040	813,680
5	10	2,034,200	14	2,847,880	813,680
6	12	2,441,040	17	3,458,140	1,017,100
7	14	2,847,880	20	4,068,400	1,220,520
8	16	3,254,720	23	4,678,660	1,423,940
9	18	3,661,560	25	5,085,500	1,423,940
10	20	4,068,400	27	5,492,340	1,423,940

뿐만 아니라 A기업의 적재작업과 동일한 작업을 행한다고 가정할 때, 2장에서 서술된 CFS 컨테이너 작업 현황 자료를 이용하여 적재비용을 산정해 볼 수 있다. 40ft 컨테이너 개당 취급비용은 203,420원이고, 모든 컨테이너 적재작업 도중에 발생하는 재취급은 고려하지 않는다고 할 때 Container Loader와 A기업의 적재관련비용¹⁾은 계산으로부터 각각의 컨테이너 개수에 따른 비용차이는 최대 1,423,940원으로 나타났다.

A기업의 적재물품은 베트남 수출화물로써, 부산항에서 베트남 호치민으로 수출되는 컨테이너의 총 물류비용을 산정해보면 <표 4-9>과 같다. 여기서 총 물류비용은 국내운송비와 베트남 입항 후의 THC는 포함하지 않고 총 물류비용은 위에 산정된 적재비용과 수출통관료, 해상운임, THC, 컨테이너세, 부두사용료 등을 포함한다²⁾.

1) 적재작업 도중의 재취급은 주로 화주의 요청시에 발생하므로 포워딩업체측면에서는 고려하지 않는다.

2) 통관료: 화물 감정가격 X 1.5/1,000 + 10% 부가세(기본13,200)

해상운임: 1,200(USD/40ft)

THC: 202,000(원/40ft)

컨테이너세: 40,000(원/40ft)

부두사용료: 6,720(원/40ft)

<표 4-9> 총 물류비용의 비교

	Container Loader		A기업		비용차액 (원)
	컨테이너개수 (개)	총 물류비용 (원)	컨테이너개수 (개)	총 물류비용 (원)	
1	2	3,719,048	3	5,578,572	1,859,524
2	4	7,438,096	6	11,157,144	3,719,048
3	6	11,157,144	10	18,595,240	7,438,096
4	8	14,876,192	12	22,314,288	7,438,096
5	10	18,595,240	14	26,033,336	7,438,096
6	12	22,314,288	17	31,611,908	9,297,620
7	14	26,033,336	20	37,190,480	11,157,144
8	16	29,752,384	23	42,769,052	13,016,668
9	18	33,471,432	25	46,488,100	13,016,668
10	20	37,190,480	27	50,207,148	13,016,668

위의 결과로부터, 총 물류비용에 있어서는 최대 13,016,668원의 차이가 발생하였다. 컨테이너 개수의 변화가 비용변화에 크게 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 따라서 적재효율 측면에서 뿐만 아니라 비용절감의 측면에서도 본 연구의 결과는 유익하다고 사료된다.

제 5장 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 컨테이너에 물품을 적재 시, 컨테이너 내의 공간을 최대한 이용하면서 하중 분포의 균형을 이루는 3차원 컨테이너 적재 문제를 다루었다. 많은 기존의 연구들이 다양한 기법을 이용하여 최적의 해법을 제안했지만 이론적인 면에 치우쳐 실제 작업에 활용하는 데는 한계가 있었다. 그리고 많은 요소들 중 비용요소를 구체적으로 표현한 연구가 아직까지 없었다. 그러나 본 연구에서는 화물의 컨테이너 내 최적위치를 결정하는 적재모델을 개발하였고, 총 비용 산정을 통해 경제적 컨테이너 종류 및 개수를 선택 할 수 있는 구체적인 방안을 제시하였다.

또한, 시뮬레이션을 통한 결과는 공간 이용률의 개선과 비용절감의 효율적 측면을 보여주고 있다. 우리는 제안된 휴리스틱 알고리즘을 기반으로 컨테이너 적재모델의 3차원 그래픽 표현을 통해 적재 소프트웨어 프로그램을 개발하였고 이의 상용화를 기대하는 바이다.

좀 더 사실적이고 다양한 요소들이 포함되게 되면 복잡성이 증가하여 만족할 만한 결과를 얻기 어려우나 본 연구에서는 바람직한 결과를 도출해 내었다고 평가된다. 그러나 본 자동화 적재프로그램이 실제 현장에서 사용되기에는 화물의 규격을 정보화하지 않은 작업환경 때문에 화물의 규격을 정보화시키고 그 규격을 입력하는데 더 오랜 시간이 소요되어 사용자 입장에서는 더 번거로운 작업이 될 수도 있다. 따라서 향후 연구에서는 이러한 현실을 고려하여 다양한 차종과 다양한 목적지, 다양한 선내규격에 최대의 밀도로 자동차를 적재해야 하는 CAR CARRIER와 같은 다른 분야로의 응용을 시도해 볼 필요가 있다고 사려 되는 바이다.

참고문헌

- [1] 옥선종 외(1997), “화물운송론”, 경록출판사, pp.252~281.
- [2] 이철영 외(2000), “정통 물류관리사”, 효성출판사.
- [3] 이철영(1998), “항만물류시스템”, 효성출판사.
- [4] 이채민·신재영(2003), “장치장 모니터링 시스템과 통합된 효율적인 수출 장치장 계획 시스템”, 한국항해항만학회지, 제27권, 제1호, pp.31~40.
- [5] 임문택(1998), “무한경쟁시대의 컨테이너부두 운영전략”, 한국항해항만학회지, 제12권, 제2호, pp.195~206.
- [6] 최세경(2004), “2차원 형상의 절단공정을 위한 네스팅 알고리즘 구현에 관한 연구”, 한국해양대학교 학위논문(석사).
- [7] 황학·이관재·선지웅(1997), “3차원 물품 적재에 관한 마이크로 컴퓨터용 프로그램 개발”, 대한산업공학회지, Vol.23, No.1, pp.55~76.
- [8] 황학·임준묵(1992), “컨테이너와 팔레트 적재패턴에 대한 마이크로 컴퓨터 프로그램”, 대한산업공학회지, Vol.5, No.2, pp.75~85.
- [9] Adam, N.L. and Amaral, A.(2001), “Analysis of upper bounds of the Pallet Loading Problem”, *European Journal of Operational Research*, Vol.32, pp.582~593.

- [10] Alvarez, R., Parreño, F. and Tamarit, J.M.(2003), “A Branch and Cut Algorithm for the Pallet Loading Problem”, *Technical Report of University of Valencia, Spain*.
- [11] Alvarez, R., Parreño, F. and Tamarit, J.M.(2003), “A tabu search algorithm for the pallet loading problem”, *Technical Report of University of Valencia, Spain*.
- [12] Bortfeldt, A. and Gehring, H.(2001), “A hybrid genetic algorithm for the container loading problem”, *European Journal of Operational Research*, Vol.131, pp.143~161.
- [13] Chan, C.K. and Tan, S.T.(2001), “Determination of the minimum bounding box of an arbitrary solid: an iterative approach”, *Computers and Structures*, Vol.79, pp.1433~1449.
- [14] Colin R Reeves BSc. MPhil(1995), “Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems”, McGraw-Hill.
- [15] Günther, R. and Gabriele K.(1998), “Genetic Algorithms for the Multiple Container Packing Problem”, *Proceedings of the 5th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (PPSN V)*, vol. 1498, pp. 875-884.
- [16] Hartmann, S.(2000), “Packing Problem and Project Scheduling Models: An Integration Perspective”, *Journal of the Operational Research Society*,

Vol.51, pp.1083 ~ 1092.

[17] Kang, J.H. and Park, S.S.(2003), “Discrete Optimization Algorithms for the variable sized bin packing problem”, *European Journal of Operational Research*.

[18] J.M. Valério de Carvalho(2002), “LP models for bin packing and cutting stock problems”, *European Journal of Operational Research*, Vol.131, pp.253~273.

[19] Lodi, A., Martello, S. and Vigo, D.(2002), “Heuristic algorithms for the three-dimensional bin packing problem”, *European Journal of Operational Research*, Vol.141, pp.410~420.

[20] Lodi, A., Martello, S. and Vigo, D.(2002), “Recent advances on two-dimensional bin packing problems”, *Discrete Applied Mathematics*, Vol.123, pp.379~396.

[21] Martello, S., Pisinger, D. and Vigo, D.(2000), “The three-dimensional bin packing problem”, *Operations Research*, Vol.48, pp.256~267

[22] Miki, T., Imai, A. and Fujitani, H.(1985), “A study of Loading Pattern of Packages inside a Container”, *Journal of Japan Institute of Navigation*, No.73, pp.173~180

[23] Ronald H.Ballou(1999), “Business Logistics Management”, Prentice-Hall, Inc., pp.261~262

[24] Xing, W.(2002), "A bin packing problem with over-sized items", *Operational Research Letter*, Vol.30, pp.83~88.

[25] G, Y.G. and Kang, M.K.(2001), "A fast algorithm for two-dimensional pallet loading problems of large size", *European Journal of Operational Research*, Vol.134, pp.193~202.