

컨테이너 터미널에서 실시간 선적계획의 효율적인 발견적 해법

서경무* · 이종호** · 신재영***

*LG CNS물류사업담당 물류사업팀, **한국해양대학교 대학원, ***한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

An Efficient Heuristic of the Realtime Ship Load Planning in Container Terminal

Kyung-Moo Seo · Jong-Ho. Lee** · Jae-Young. Shin****

**Logistics Business Team, LG CNS co., Ltd, Seoul 100-725, Korea*

***Graduate school of Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea*

****Department of Logistics Engineering, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea*

요 약 : 컨테이너 터미널에서는 효율적인 선적 작업을 위해 선박이 입항하기 전 선적 계획을 수립한다. 하지만 실제 선박의 적재 상태가 계획 시점에서의 적재상태와 다른 경우, 또는 선적계획이 실제로 불가능한 경우 등의 상황으로 인해 즉각적인 대응 필요성을 가진다. 본 연구에서는 위에서 언급한 예기치 못한 상황에 대해 정리하고, 상황에 맞는 합리적이고 즉각적으로 활용이 가능한 실시간 선적계획 모델을 제시 하였다.

핵심용어 : 컨테이너 터미널, 실시간, 선적계획, 발견적 해법, 의사결정

ABSTRACT : In container terminal ship load planning for efficient loading is made before the ships arrive. But sometimes real loading state of the ship is different from planned loading state. And the planning is not available. So ship load planning must be adjusted in realtime. In this study we organize the situations said before. And we present realtime ship load planning method. The method is suitable for the situations, rational, and immediately able to use.

KEY WORDS : Container Terminal, Realtime, Ship load planning, Heuristic algorithm, Decision making

1. 서 론

컨테이너 터미널은 고객사인 선사에게 비용 절감과, 수요의 충족, 그리고 서비스율 향상을 위해 선박의 처리시간에 따른 생산성 향상에 많은 노력을 기울이고 있다. 생산성은 양·적하 작업의 효율성에 의해 좌우되며, 이러한 양·적하 작업의 효율성은 사전 계획과 작업자들의 작업 방식에 의해 좌우된다. 사전 계획은 계획 수립 시점의 야드 상황과 쿼크레인(G/C) 상황에 맞게 수립하지만, 실시간으로 발생 하는 여러 가지 문제점으로 인해 현장작업의 많은 부분에 어려움을 겪고 있으며 실제 작업 시에는 본선 작업자들에 의해 임의로 작업 순서가 변경되는 경우가 많이 있다.

따라서, 본 연구에서는 실제 본선 양·적하 작업 시 작업자에

의해 임의로 변경되어 오던 작업 요소들을 분석 하여 각각의 작업에 보다 효율적이고 생산성을 높일 수 있는 작업이 가능한 해법을 연구 하였다.

관련된 선행 연구를 살펴보면, 신재영과 광규석, 남기찬(1999)은 컨테이너 터미널의 선적 계획 시스템을 규칙베이스(Rule-Base) 시스템 근간으로 자동화 모듈을 설계 하였다.

김갑환, 류광렬, 박영만, 강진수, 이용환(2000)은 실제 터미널에서 계획자들이 적하작업 계획시에 고려하는 제약조건 및 효율적인 계획을 위한 고려사항을 바탕으로 빔탐색법(beam search)을 사용하여 컨테이너 개개의 작업순서를 결정하는 알고리즘을 제시하였다. 김갑환, 류광렬, 박영만, 강진수, 이용환은 빔탐색법(beam search)을 사용하여 개별 컨테이너의 작업 순서와 위치를 결정하는 적하계획 시스템 개발에 관한 연구, T/C의 이동거리, G/C 및 T/C의 작업 편의성, 컨테이너의 무

게를 고려한 선박의 안정성 등을 포함한 자동 적하계획 시스템 개발하였다. Sasaki와 Nishimura, Papadimitrioe(2004)는 컨테이너 터미널의 효율성 향상을 위해 적하 진행에 따른 본선의 안정성, 컨테이너 재취급(rehandle)수의 최소화를 고려 하여 본선의 양·적하 계획에 관한 multi-objective integer programming을 연구 하였다. 신재영, 이광인, 하태영(1998)은 컨테이너 터미널에서 컨테이너 양·적하 계획 수립 시의 크레인 작업 Hatch의 배정과 순서 결정에 관한 연구를 하였다. 박영만, 김갑환(1999)은 역시 크레인의 작업완료 시간을 최소화 하는데 목적함수를 두고 크레인간의 간섭, 가용시간, 특정 작업간의 선후관계 등을 제약조건으로 두고 수리적 모형을 개발하였고, 이를 분지한계법을 이용하여 최적해를 빨리 찾아가는 탐색 방법을 제시하였다.

상기 연구들은 사전 계획을 바탕으로 장비의 효율성과 작업 시간의 단축을 목적으로 하여 왔으며, 실시간 상황은 고려되지 않았다.

2. 현 시스템 고찰

컨테이너 터미널에서는 선박의 하역작업을 위하여 우선 기본 계획을 수립한 후 하역작업을 실시한다. 하역작업과 관련하여 터미널에서 수립하는 계획에는 G/C배정계획, 양하계획, 적하계획과 같은 세 가지의 기본 계획이 있다.

2.1 G/C 배정계획

G/C 배정계획은 각 G/C에 선박의 각 해치(Hatch)별 작업을 균등하게 배정하고 작업순서를 결정하는 것을 말한다. 기본적인 G/C 배정계획 수립 규칙은 아래와 같다.

Table 1 General G/C allocate planning rules

구분	고려사항	내용
기본 규칙	작업 물량	· 크레인별 작업량 균등화 (양하량 + 적하량)
	작업 배정	· 선박의 Hold, Deck로 나누어 각 Hatch단위로 작업배정
	G/C 특성	· 크레인간의 최소 작업 간격 유지 · 일반적 작업 간격 40'이상, Bay 번호 차이 6 이상 · 크레인간 작업 교차 및 간섭
작업 방향	양하	· 선미에서 선수방향
	적하	· 선수에서 선미방향
기타 규칙	기타	· 선사의 특정 Hatch 작업 우선, 지연 요청 · 특정 Bay 수리, 긴급화물 등의 요구

2.2 양하계획

양하 계획은 터미널에 입항 예정인 선박에 대하여 양하 관련 서류를 접수한 이후에 작업 G/C를 배정하여 작업 스케줄 및 베이(Bay)별 컨테이너의 양하 순서를 결정하는 것을 말하며, 기본적인 규칙은 아래와 같다.

Table 2 General discharge planning rules

구분	고려사항	내용
작업 방향	횡방향	· 선박 접안방향 (좌현->우현, 우현->좌현) · 중앙->바깥쪽, 바깥쪽->중앙
	종방향	· 수직 순서(vertical order) · 수평 순서(horizontal order)
유형별 일괄 작업	규격	· 20ft, 40ft, 45ft별 일괄작업
	종류	· Reefer, Break bulk, Over-dimension등 컨테이너 종류별 일괄작업
	운송 종류 공 컨테이너	· 선내이적, 자부두 T/S별 · 공 컨테이너 일괄작업
추가적 고려사항	G/C 통과 높이	· 추가적인 선내이적 발생 · 저반방향 앞 상단 컨테이너 우선 작업
	Hatch cover	· 형상과 종류에 따른 작업 고려 · 선창내 작업 전에 반드시 개방
	셀 가이드	· 셀 가이드 없고, 20ft 컨테이너 양하 · 두 개의 인접 Bay를 교대로 작업
	Bay 작업순서	· 동일 작업 베이(Bay)내의 순서 · G/C 작업의 진행방향 순서로 작업

2.3 적하계획

적하계획은 선사에서 제출한 적하 Stowage Plan상의 컨테이너 양하지별, 규격별 적재 요청 범위 내에서 터미널의 작업 효율성을 최대한 고려하여 개별 컨테이너의 적재 위치를 할당하고 선적순서를 결정하는 것을 말하며 기본적인 규칙은 아래와 같다.

Table 3 General load planning rules

구분	고려사항	내용
작업 방향	횡방향	· 선박 접안방향 (좌현->우현, 우현->좌현) · 중앙->바깥쪽, 바깥쪽->중앙
	종방향	· 수평 순서(horizontal order)
		· 수직 순서(vertical order)
야드 장비	· S/C는 계단식 순서, T/C는 수직 순서	
유형별 일괄 작업	규격	· 20ft, 40ft, 45ft별 일괄작업
	종류	· 컨테이너 종류별 일괄 작업 (Reefer, Over-Dimension)

추가적 고려사항	위치 제약	· Under deck, On deck, Under water line 고려
	공 컨테이너	· 공 컨테이너 일괄 작업
	선박 안정성	· GM 확보를 위하여 중량 컨테이너 하단 적재
	동선 최소화	· S/C, T/C의 블록간, 베이(Bay)간 이동 최소화
	장비교체 최소	· 컨테이너 장치장의 하역 장비 교체 최소화
	위치 고정	· 선사가 지정한 고정 위치에 컨테이너 적재
	단적 중량	· 단적 중량 제한 준수
	G/C 통과 높이	· 추가적인 선내이적 발생 · 접안방향 뒤쪽 상단 컨테이너 우선 작업
	Hatch cover	· 형상과 종류에 따른 작업 고려 · 갑판상 컨테이너 작업 전에 반드시 설치
	셀 가이드	· 셀 가이드 없고, 20ft 컨테이너 양하 · 두 개의 인접 Bay를 교대로 작업
High-cubic	· 선창내, 갑판상의 적재 요소	
충돌 및 간섭	· S/C, T/C간의 작업 간격 고려	

2. 4 하역작업

위에서 살펴본 G/C 배정 계획, 양·적하 계획이 수립된 후 실제 선박이 입항하면 하역작업이 실시된다.

<Fig. 1>은 컨테이너 선박의 하역에 있어서 각 작업자들의 위치와 하역작업의 흐름도를 나타낸 것이다.

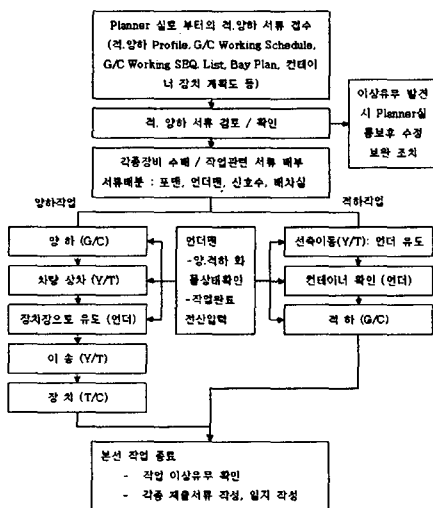


Fig. 1 Ship loading process chart

2. 5 현 시스템의 한계 및 문제점

일반적인 하역작업은 사전에 수립된 G/C 배정 및 작업순서

에 따라 작업을 실시한다. 하지만 실제 상황과 맞지 않는 사전 계획으로 인하여 효율적인 작업을 위해 계획을 수정하여야 하는 일이 발생하게 된다.

계획상의 상황과 실제 상황이 맞지 않는 경우는 크게 3가지로 나누어 볼 수 있는데, 다음과 같은 경우들이다.

첫째로, 본선에서 컨테이너의 위치가 변경된 경우가 있다. 선사의 요청 또는 사전계획이 잘못되어 컨테이너의 위치가 변경되는 경우로서, 세부 사항은 아래와 같다.

Table 4 Situations due to changed container location

운영 문제	문제 상황
선사에 의한 특정 컨테이너 위치의 요청	· 다수의 컨테이너 위치 지정 요청
잘못된 사전 계획	· Reefer 컨테이너의 일반컨테이너 위치로 계획 · Over-dimension의 적재 불가능한 위치로 계획

다음으로는, G/C의 작업순서 및 배정 변경이 있다. 이에 대해 문제가 되는 사항은 아래와 같다

Table 5 Situations due to changed G/C work order and allocation

운영 문제	문제 상황
G/C 작업 분배/재배정	· 하나의 G/C 고장 · 하나의 G/C 투입 · 하나의 G/C의 작업 연장
G/C 작업 순서 변경	· 이웃 G/C의 간섭 · 선박의 안정성 · 다른 G/C와 동일 Block, Bay 작업을 할 경우 · 특정 Bay의 수리
야드 상황	· 야드의 Workload 과부하 · 특수 컨테이너 일괄 작업 · 미착 컨테이너

마지막으로 Sub sequence(Bay내 작업순서)의 변경 상황이 있다. 이는 한 Bay내에서 컨테이너를 양·적하 하기 위해 정해진 순서를 변경하는 것을 말하며, 발생하는 상황은 아래와 같다.

Table 6 Changing sub sequence situations

운영 문제	문제 상황
본선 상황	· Twin Lift가 가능하나 계획에서 누락된 경우 · Twin Lift로 계획되었지만, Cell 특성상 불가능한 경우 · 선박의 안정성을 고려해야 하는

이를 기초로 한 sub sequence의 변경 해법은 다음과 같다.
 step 1. 최초 i index를 선택 - 0 혹은 이전에 선택된 아크의 j index.

선택된 i 에서 다음 선적 가능한 j 목록 집합 X_{ij} 를 생성

step 2. 선적 가능한 컨테이너 목록 집합들의 평가값 P_{ij} 계산.

step 3. P_{ij} 가 가장 낮은 i, j 아크를 선택.

가장 낮은 P_{ij} 가 두 개 이상이면 j의 index번호가 낮은 노드를 선택.

더 이상 진행할 아크가 존재하지 않으면 끝을 내고 존재하면 step 1 로 이동.

4. 해법 적용

4. 1 G/C의 작업 순서 변경/작업 분배

해법을 적용하기위해 현재 G/C의 작업 배정과 순서가 사전 계획에 의해 결정되어 있는 상태이며, 각 G/C의 양하 작업이 완료단계에 있는 상태이다.

각 해치별 작업물량은 <Table 7>과 같으며 이때 G/C별 작업 순서 배정은 <Fig. 3>과 같다.

Table 7 Work load of each hatches

구분	06	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66
양	D	27		3		7		63		12		62	12	13	11	16
하	H	44	4					64		33		57			54	
적	D		23		62	32		14	30		52		29			38
하	H		13		19	32	3		12		1		10	20	1	10

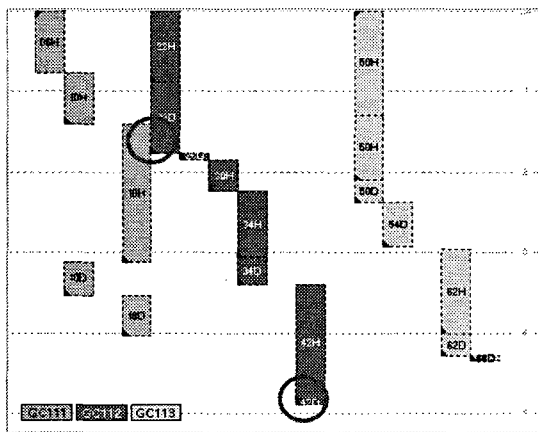


Fig. 3 Work load of each G/Cs

<Fig. 3>에서 18번 해치 Hold 적하 작업과 22번 해치 Deck의 적하 작업 과정에서 G/C간 간섭이 일어남을 알 수 있다.

또 GC112호기의 작업이 다른 G/C에 비해 작업 시간이 긴 것

을 알 수 있다.

위에서 제시한 작업 순서 변경 해법을 적용했을 때 <Fig. 4>와 <Fig. 5>와 같이 전체 작업의 효율이 향상됨을 볼 수 있다.

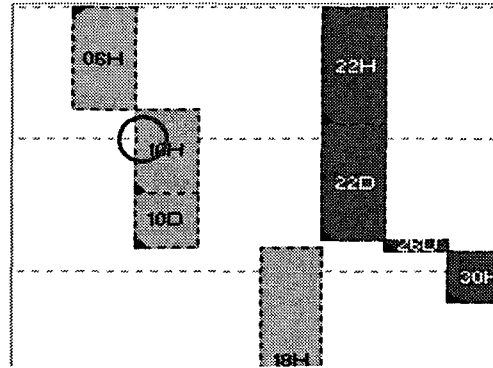


Fig. 4 After change work sequence

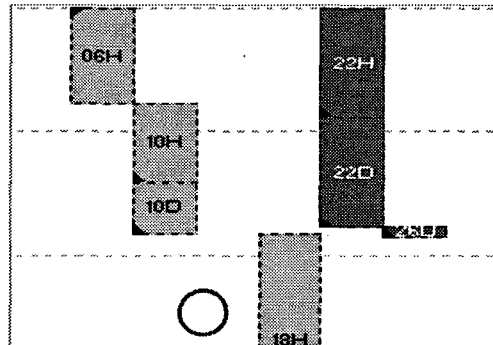


fig. 5 After change work load

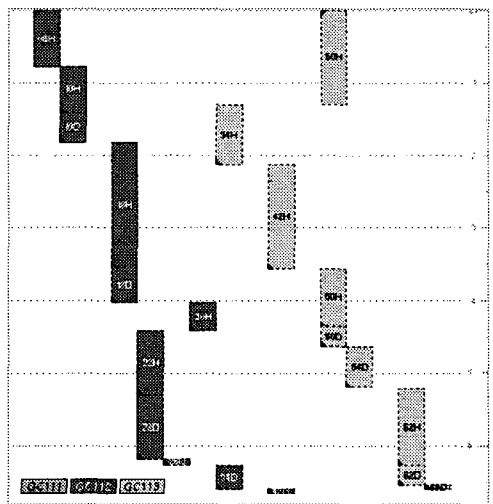


fig. 6 GC111 break down and reallocation

또 GC111호기가 고장으로 작업이 불가능 할 경우 <fig. 6>처럼 작업이 재 할당됨을 볼 수 있다.

4. 2 실제 자료의 적용

본 연구에서 수립한 해법을 실제 H컨테이너 터미널의 선적 자료를 이용하여 적용해 보았다.

아래 표는 G/C의 작업 순서 변경/작업 분배 해법을 적용한 결과 값이다.

Table 8 Result of the G/C allocation and changing work sequence Algorithm

구분	투입 G/C	G/C 간섭	최소 작업	최대 작업	작업 완료	
CASE 1	적용 전	3	1	161	181	7.24 시간
	적용 후	3	1	158	162	6.52 시간
CASE 2	적용 전	3	1	152	187	7.48 시간
	적용 후	3	0	171	173	6.92 시간
CASE 3	적용 전	4	1	187	238	9.92 시간
	적용 후	4	0	205	213	8.52 시간
CASE 4	적용 전	2	0	99	129	5.16 시간
	적용 후	2	0	108	122	4.88 시간

<Table 8>에서 보듯이 전체 작업 시점에서 작업의 평준화와 작업 완료시간을 단축시킬 수 있었다.

다음은 sub sequence변경 해법을 적용한 결과 이다.

Table 9 Result of the changing sub sequence Algorithm

구분	20ft	40ft	TD	TL	재취급	
CASE 1	적용 전	18	22	18	18	9
	적용 후	18	22	18	18	7
CASE 2	적용 전	4	24	0	0	1
	적용 후	4	24	4	0	0
CASE 3	적용 전	16	15	0	4	12
	적용 후	16	15	2	13	7
CASE 4	적용 전	60	6	3	0	11
	적용 후	60	6	21	0	8
CASE 5	적용 전	17	29	16	0	25
	적용 후	17	29	16	2	21

TD : 트윈 디스패치 작업 순서상의 수

TL : 트윈 리프트 작업 순서상의 수

재취급 : 장치장에서 컨테이너 선적을 위해 재취급이 발생하는 수

<Table 9>와 같이 배이내의 작업 순서 변경은 변경 대상의 크기가 작으므로 사전계획에 비해 크게 변경되었다고 보기 힘들다. 하지만, 트윈리프트, 트윈 디스패치로 계획되지 않은 작업에 대해서는 만족할 만한 결과를 얻었다고 할 수 있겠다.

5. 결 론

사전에 아무리 잘 짜여진 계획이라 하더라도, 실제 작업 시 상황의 변화 등으로 인한 계획수정의 한계점을 보이며, 이를 보완하고 보다 높은 생산성 향상을 위해 실시간으로 작업자들의 의사 결정을 도와줄 도구가 필요하다.

본 연구에서는 실시간 상황을 고려하여 G/C의 작업순서를 재결정, 재배정 하고 베이(Bay)내 컨테이너 작업순서를 재결정하

는 모형을 제시 하였고, 이 모형들의 발견적 해법을 통해 결과를 도출하였다.

이를 통해 실시간 작업에 있어서 효율적인 작업이 가능한 해법에 대한 연구를 시도하였고, 실제 작업 시 계속적인 계획의 수정을 통하여 효율적인 작업을 결정하는 것에 대한 연구를 하였다. 또, 발견적 해법을 통해 빠른 시간에 해답을 찾음으로써 실제 선적작업 시 작업자의 의사결정지원의 한 모델로 사용이 가능할 것으로 보이며, 터미널 전체 생산성 향상에 도움을 줄 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 신재영, 남기찬(1998) "컨테이너 선박의 자동 적재 계획을 위한 지능형 의사결정 지원 시스템", 한국항만학회지, 제 16권, 제2호, 29-37
- [2] 신재영, 광규석, 남기찬(1999) "효율적인 컨테이너 터미널 선적 계획을 위한 의사 결정 지원 시스템" 한국항만학회지, 제2권, 제13호, 1-12
- [3] 신재영, 이광인, 하태영(1998) "컨테이너 선적을 위한 겐트리 크레인 작업 스케줄링" 한국해양대학교 부설 물류 연구 센터 논문집, 제 2집
- [4] 김갑환, 류광렬, 박영만, 강진수, 이용환 (2000) "Meta-heuristic 기법을 이용한 2단계 컨테이너 적하계획 알고리즘", 대한산업공학회/한국경영과학회 2000 춘계공동학술대회 논문집.
- [5] 이광인, "컨테이너 선적 계획을 위한 통합의사결정 지원시스템", 석사학위논문
- [6] 하태영, "효율적인 하역장비 운용을 위한 컨테이너 터미널 선적 계획시스템", 석사학위논문
- [7] Akio Imai, Kazuya Sasaki, Etsuko Nishimura, Stratos Paapadimitriou, "Multi-objective simultaneous stowage and load planning for a container ship with container rehandle in yard stacks", European journal of operational research
- [8] 김갑환, 김기영, 고창성(1997) "컨테이너 터미널에서의 수출컨테이너의 적하순서문제의 수학적 모델" 한국생산관리학회지 제8권 제2호, 93-111
- [9] Kap Hwan Kim(2003) "Sequencing delivery and receiving operations for yard cranes in port container terminals", International Journal of Production Economics, 84, 283-292
- [10] Kap Hwan Kim(2004) "A crane scheduling method for port container terminals", European Journal of Operational Research, 156, 752-768
- [11] 박영만, "컨테이너 크레인 일정계획의 최적화 해법", 석사학위논문