

物流學博士 學位論文

수출 컨테이너 재취급 감소를 위한
선처리 방안에 관한 연구

A Study on Export container preprocessing method to decrease
the number of rehandling



2011年 8月

韓國海洋大學校 大學院

物流시스템 學科

朴 榮 奎

차 례

제1장 서론	1
제1절 연구의 배경	1
제2절 연구의 목적	3
제3절 연구의 구성	5
제2장 이론적 고찰	6
제1절 항만의 경쟁	7
제2절 컨테이너터미널 운영효율	10
1. 운영효율과 생산성	10
2. 컨테이너터미널 장치장 구성과 운영	15
3. 컨테이너의 흐름	25
제3절 생산성 관련 연구	29
제3장 제안 알고리즘	34
제1절 제안 알고리즘 고려사항	34
제2절 예상 선처리 휴리스틱	40
제3절 요구 선처리 휴리스틱	48
제4절 확장 예상 선처리 휴리스틱	55
제5절 알고리즘의 대상 확장	63
1. 고려할 사항	63
2. 알고리즘에 변경 혹은 추가할 부분	65
3. 성능 고려사항	68
제4장 실험 결과 및 분석	70
제1절 실험에 대한 가정 및 고려사항	70
제2절 이적에 대한 영향	73
제3절 재처리에 대한 영향	77
제5장 결론	83
참고문헌	86

표 목 차

<표 2-1> 관련 연구의 요약.....	33
<표 4-1> AP 휴리스틱의 이적에 대한 효과 - 4단 6열	73
<표 4-2> AP 휴리스틱의 이적에 대한 효과 - 6단 9열.....	73
<표 4-3> DP 휴리스틱의 이적에 대한 효과 - 4단 6열.....	74
<표 4-4> DP 휴리스틱의 이적에 대한 효과 - 6단 9열.....	74
<표 4-5> 확장 AP 휴리스틱의 이적에 대한 효과 - 4단 6열.....	75
<표 4-6> 확장 AP 휴리스틱의 이적에 대한 효과 - 6단 9열.....	75
<표 4-7> AP 휴리스틱의 재처리에 대한 효과 - 4단 6열.....	78
<표 4-8> DP 휴리스틱의 재처리에 대한 효과 - 4단 6열.....	79
<표 4-9> 확장 AP 휴리스틱의 재처리에 대한 효과 - 4단 6열	80
<표 4-10> AP 휴리스틱의 재처리에 대한 효과 - 6단 9열.....	80
<표 4-11> DP 휴리스틱의 재처리에 대한 효과 - 6단 9열.....	81
<표 4-12> 확장 AP 휴리스틱의 재처리에 대한 효과 - 6단 9열.....	82

그림 목차

<그림 2-1> 항만의 변화	9
<그림 2-2> 안벽내 운영 흐름도	12
<그림 2-3> 장치장내 운영 흐름도	13
<그림 2-4> 수평형 장치장의 블록	16
<그림 2-5> 베이의 입체모습	16
<그림 2-6> 열의 입체모습	16
<그림 2-7> 수평형 배치 장치장	17
<그림 2-8> 수직형 배치 장치장	18
<그림 2-9> Group 방식의 적재 방법	20
<그림 2-10> 수입 컨테이너 흐름	25
<그림 2-11> 수출 컨테이너 흐름	26
<그림 2-12> 환적 컨테이너 흐름	27
<그림 2-13> 컨테이너터미널의 업무흐름도	28
<그림 3-1> 컨테이너의 반입 순서	37
<그림 3-2> MDF 휴리스틱의 적재 과정	38
<그림 3-3> AP 휴리스틱의 적재 과정	46
<그림 3-4> DP 휴리스틱의 적재 과정	54
<그림 3-1> 컨테이너 반입순서	60
<그림 3-5> 컨테이너 반입순서 - 무게의 순서	60
<그림 3-6> 확장 AP 휴리스틱의 적재 과정	61
<순서도 1> AP 휴리스틱의 순서도	44
<순서도 2> DP 휴리스틱의 순서도	52
<순서도 3> 확장 AP 휴리스틱의 순서도	59

A Study on Export container preprocessing method to decrease the number of rehandling

Young-Kyu Park

Department of Logistics Engineering
Graduate School of Korea Maritime University

ABSTRACT

The export of the containers consists of two steps, carrying them into the container yard and, then, out to the ship. For the safety of the ship, the heavier container should be loaded at the lower part of the ship. Because of this, the container rehandling happens during carrying out to the ship, and the number of the rehandling container is an important factor for the loading and unloading capability. There has been many studies for utilizing the idle times after loading the containers in the container yard. This study suggests the method of decreasing the number of container rehandling by preprocessing the container using the information about the weight of the container. This method is the preprocessing one which can decrease, during carrying into the container yard, the number of container rehandling which can happen during carrying out to the ship, and, according to the simulation test, it showed to be more effective than other method.

제1장 서론

제1절 연구의 배경

해상운송과 육상운송을 연계하는 대규모 물류기지인 컨테이너터미널은 규모의 경제로 인한 선박의 대형화, 기항지수의 감소, 그리고 허브항 개발에 대한 국가 간, 항만 간에 치열해지는 경쟁과 선사들의 재항시간 감소 요구 증대로 인하여 더욱 높은 생산성이 요구된다. 컨테이너터미널의 생산성은 하드웨어측면과 소프트웨어측면으로 나누어 볼 수 있는데 하드웨어는 적양하시스템, 장치장 시스템, 이송시스템, 게이트시스템 등의 하부시스템의 설계 및 보완과 관련이 있으며 소프트웨어는 터미널 운영과 직접적인 관련이 있다.

그리고 선박에서 컨테이너를 내리는 양하작업과 선박에 컨테이너를 싣는 적하작업으로 이루어지는 본선작업은 터미널 운영과 관련한 생산성에 큰 영향을 미친다. 양하작업은 수입컨테이너와 환적컨테이너를 대상으로 실시하며 적하작업은 수출컨테이너와 환적컨테이너를 대상으로 이루어진다. 수출컨테이너의 경우 게이트를 통과하여 장치장에 컨테이너를 반입하는 과정과 필요할 경우 이적을 하는 과정 그리고 장치장에서 컨테이너를 반출하여 선박에 컨테이너를 적재하는 과정으로 이루어진다. 반입과정이 수행되는 상황에 따라 재취급과 이적이 발생하며 이는 생산성과 직결되는 문제로 불필요한 비용을 발생시킬 수 있다.

결국, 컨테이너터미널의 생산성을 높이기 위해서는 선박에 컨테이너를 적하할 때 이적작업이나 재취급의 발생 횟수를 최소화 하는 것이 중요하게 된다. 선박에 컨테이너를 적재할 때 선박의 안전성을 고려하여 무거운 컨테이너를 선박의 아래쪽에 적재하는 것이 기본이므로, 재취급이 발생하지 않으려면, 반입 시에 무게가 무거운 컨테이너를 위쪽에 배치하는

것이 유리하다. 하지만 컨테이너가 반입되는 순서는 예측을 할 수 없으므로 장치장에서 반출할 때 항상 재취급이 발생하지 않도록 적재하는 것은 불가능하다고 볼 수 있다. 그러나 반출시의 재취급 발생은 피할 수 없더라도 재취급 발생이 최소가 되도록 적재하는 것은 가능하리라고 생각되며 그 방안에 대한 연구는 의미가 있다고 본다. 그래서 본 논문에서는 반입시 컨테이너에 대한 정보를 활용하여 적재하므로써 반출시 재취급 발생이 최소가 되도록 하는 방안들에 대하여 연구를 수행하였다.



제2절 연구의 목적

위에서 언급한 것처럼 수출 컨테이너를 반입할 때 재취급이 전혀 발생하지 않도록 적재하는 것은 어려운 실정이다. 그러나 반입을 하기 전에 수출 컨테이너에 대하여 정보를 최대한 확보하고 이를 적재 시에 활용함으로써 재취급 발생비용을 낮추는 것은 가능할 것이다. 즉, 확보한 컨테이너에 대한 정보를 이용하여 컨테이너 배치를 효율적으로 수행함으로써 이적의 필요성도 줄이고, 반출 시의 재취급의 횟수를 최소화할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 이런 관점에서 컨테이너가 반입되는 시점에 확보한 컨테이너 정보를 이용하여 적재를 효율적으로 함으로써 재취급의 횟수를 줄여 터미널 생산성을 높이는 방안들을 찾고자 한다. 그리고 시뮬레이션기법을 이용하여 동일한 목적 항을 가진 베이에 대하여 제안하는 방안들을 실행해 봄으로써 이 방안들의 효과를 분석하고자 한다.

기존에 제안된 생산성을 높이는 방안들은 장치장에 반입이 완료된 컨테이너에 대하여 적용하는 방안들이 많으며, 이들을 장치가 완료된 후의 처리라고 볼 수 있다면 본 논문에서 제안하는 방안들은 적재가 완료되기 전에 시행한다는 관점에서 선처리라는 용어를 사용하였다.

컨테이너에 대한 정보를 확보하는 시점과 컨테이너에 대한 정보의 양을 기준으로 볼 때, 두 가지의 경우를 생각할 수 있다.

- (1) 반입되는 시점, 해당 컨테이너의 무게에 대한 정보만 확보하는 경우
- (2) 반입을 시작하기 전, 반입될 컨테이너들에 대한 무게정보를 모두 확보한 경우

먼저 (1)의 경우에 해당하는 두 가지의 방안을 제시한다. 첫 번째는 반입하는 컨테이너의 무게를 고려할 때 향후 재취급이 발생할 가능성이 있

는 경우 미리 선처리를 하는 방안이고, 두 번째는 재취급이 발생하는 것이 확실한 경우에만 선처리를 하는 방안이다. 그리고 (2)의 경우에 적용할 수 있는 하나의 방안을 제시하는데 이는 (1)의 첫 번째 방안처럼 향후 재취급이 발생할 가능성이 있는 경우 미리 선처리를 함으로써 이적과 재취급 발생가능성을 낮추는 방안이다. 이 방안은 (1)의 첫 번째 방안에 비교하여 확보하는 정보의 양이 많으므로 더욱 효율적인 방법으로 간주된다.

이들 방안들에 대하여 이적에 대한 영향과 재처리에 대한 영향을 분석하기 위하여 시뮬레이션을 이용하여 실험을 하였다.



제3절 연구의 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장은 서론 부분으로 연구의 배경과 연구의 목적에 대하여 기술하였으며 2장에서는 이론적 고찰에 대하여 언급하였다. 항만의 변화하는 환경과 치열해지는 경쟁 그리고 컨테이너터미널의 효율성과 장치장의 운영에 대하여 언급하였으며 효율성을 높이기 위한 기존의 연구들에 대하여 알아보았다. 3장에서는 반입 시 재취급을 줄일 수 있는 세 가지 방안들을 제안하고 각 방안들의 특징과 단계별 설명, 순서도에 대하여 설명하였으며 간단한 예제를 통한 기술을 포함하였다. 이 장의 말미에 휴리스틱을 단일 베이에서 복수 베이로 확장할 때 고려할 사항들에 대해서 추가하였다. 4장에서는 본 논문에서 제안하는 방안들에 대한 시뮬레이션 실험방법을 설명하였고 시뮬레이션을 수행한 결과에 대하여 분석하였으며, 이들 결과들을 이적에 대한 영향과 재처리에 대한 영향으로 나누어 언급하였다. 마지막으로 5장에서는 결론과 연구결과를 요약하였으며 이 연구결과가 어떠한 시사점이 있는지 기술하였다. 그리고 본연구의 한계점과 향후 수행해야 할 연구 과제를 언급하였다.

제2장 이론적 고찰

컨테이너터미널은 해상운송과 내륙운송의 연결기로서 하역기능, 보관기능 그리고 수송기능을 고루 갖춘 대규모 물류기지이다. 항만을 통한 물동량의 증가 그리고 선박의 대형화로 인한 규모의 경제를 실현하려는 노력과 항만에서 체류하는 시간, 즉 재항시간을 단축하여 비용을 절감하려는 노력이 두드러진 현상이라고 할 수 있으며, 이로 인하여 항만간의 선박 유치 경쟁이 치열해지고 터미널의 높은 운영효율이 요구되고 있는 실정이다.

컨테이너터미널에 도착한 선박은 환적 컨테이너와, 수입 컨테이너들을 양하하고 환적 컨테이너와, 수출 컨테이너를 적하하는 작업을 완료한 후 터미널을 떠난다. 적하 작업이 시작되기 전에 이미 수출컨테이너들은 선박의 출항시각에 맞게 게이트를 통하여 반입되어, 장치장에 적재가 완료되어 있으며, 수입컨테이너들은 선박에서 양하된 후 장치장에 적재가 되었다가, 게이트를 통해 반출된다. 환적 컨테이너들은 한 선박에서 장치장에 양하된 후 다른 선박에 선적 된다.

수출 컨테이너의 경우 장치장에 반입된 컨테이너가 적재되는 과정에서 재취급이 발생할 수 있으며, 이를 방지하기 위하여 유효한 시간을 이용하여 이적작업을 수행하게 된다. 이 장에서는 최근 국가 간, 항만간의 경쟁력이 치열해진 현상을 알아보고 경쟁력 제고를 위하여 필요한 요소들을 알아본다. 그러기 위하여 먼저 컨테이너터미널의 구성과 운영방법에 대하여 검토해 본 후 컨테이너터미널의 운영방법과 컨테이너터미널의 생산성을 높이기 위한 여러 요소들을 알아본다.

제1절 항만의 경쟁

기업의 글로벌 경영전략과 국제물류 관리체계의 변화에 따라 항만이 물류·생산 및 비즈니스 거점으로 부각되고 있다. 이에 따라 항만의 기능은 수송·보관·하역을 중심으로 하는 단순한 국제운송의 연결점에서 공급사슬의 중심 연결고리로서 산업·물류·비즈니스 공간인 동시에 물류 부가가치를 창출하는 종합물류거점으로 재편되고 있다. 아울러 정보기술의 발달로 인한 전자상거래의 확산, 초대형선박의 등장과 장비의 현대화 그리고 서비스, 비즈니스 기능의 고도화 등에 따라 항만의 범위와 규모, 운영체계가 변화하고 있다. 이러한 항만의 변화추이는 <그림 2-1>에 나타난 것처럼 대형화, 고도화, 다각화 등으로 요약할 수 있다.¹⁾

그리고 물동량 확보를 위한 국가 간, 항만간의 경쟁이 치열하다. 각국의 항만들은 대대적인 항만시설투자를 통한 허브항 개발전략을 추구하고 있는 동시에 배후 물류 단지의 개발, 효율적인 복합 운송망 및 고도의 정보 시스템 구축 등 경쟁력 제고를 위해 온 힘을 다하고 있다. 특히 중국의 급 성장에 따른 물동량 폭증에 힘입어 지난 20세기 이후 가장 역동적인 변화를 보여 온 동북아 항만들의 중심항 경쟁은 갈수록 치열해 지고 있는 상황이다. 상해항과 선전항을 양대 컨테이너항만으로 육성하려는 중국은 지난 1997년 '상해국제해운센터' 구상을 발표한 이래 상해항을 중국 동북부 교역의 중심 항으로 집중 육성하고 있다. 이에 따라 중국 정부는 상해항이 안고 있는 터미널 처리능력 부족과 얕은 수심 문제를 해결하기 위해 「장강준설계획」과 「양산 대수심 컨테이너터미널 개발계획」이라는 두 개의 초대형 프로젝트를 수행하고 있다.²⁾ 일본 항만도 국토교통성 주관으로 2002년 7월 수퍼중추항만 육성계획을 수립하여 동북아 허브항만 경쟁에

1) 이신규, "주요 외국 경쟁항만의 동북아 허브항만 전략", 「창업정보학회지」, 제9권 제4호, pp.149-166, 2006.

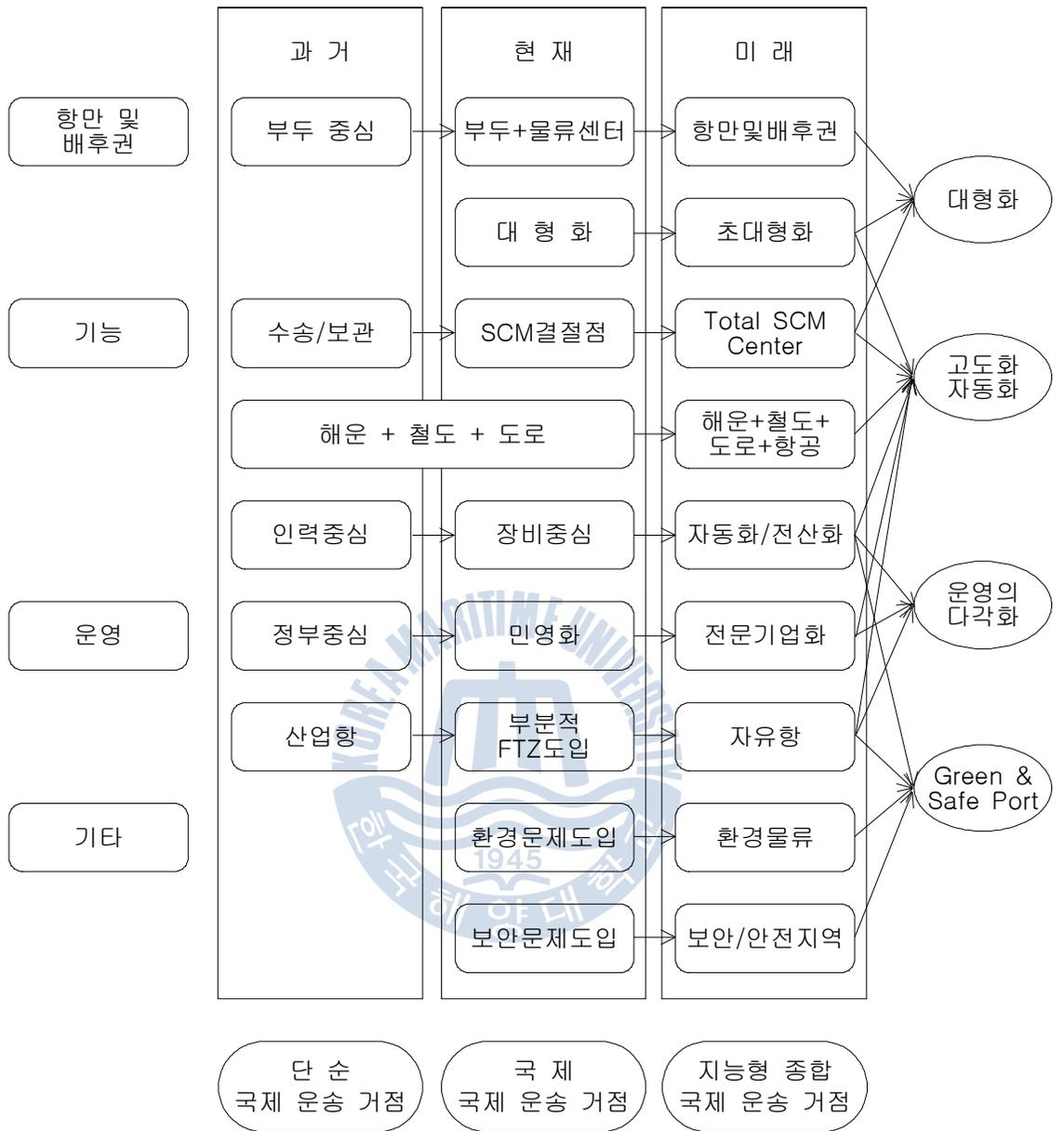
2) 한철환, "동북아 항만들의 경쟁전략에 관한 연구", 「해운연구:이론과 실천」, p.34, 2002.

본격적으로 뛰어 들고 있다. 2004년 상반기내 오사카항과 고베항을 시범적으로 통합운영한 후 도쿄항-요코하마항, 나고야항-키타큐슈항 등의 항만간의 통합을 통해 4개의 수퍼중추항만을 설립할 계획이다. 특히 단일 항만국사무국을 설립하여 행정비용도 최소화할 계획이다.

이러한 수퍼중추항만 계획이 기존의 항만정책과 구분되는 특징은 지금까지 지역 균형개발 전략을 지향해 온 항만정책을 일대 전환하여 선택과 집중 전략을 추진하겠다는 것이다³⁾.



3) 강영문, “국제물류 환경변화와 우리나라 항만의 활성화 전략”, 「물류학회지」, 제14권 제2호, p.52, 2004.



<그림 2-1> 항만의 변화

자료: 이신규, “주요 외국 경쟁항만의 동북아 허브항만 전략”, 「창업정보학회지」, 제9권 제4호, pp.149-166, 2006.

제2절 컨테이너터미널 운영효율

1. 운영효율과 생산성

컨테이너터미널과 관련한 운영 효율에 대한 개념을 알아본다. 일반적으로 운영효율은 생산성, 이용률, 능력 대비 실적과 비용까지 고려된 개념이다. 컨테이너터미널의 경우 최소한의 비용으로 터미널 능력이 미치는 최대의 화물을 처리하는 것이 터미널의 운영 효율을 높이는 것이 될 것이다.

생산성은 투입된 생산요소에 대한 산출량으로 정의되는데 컨테이너터미널에서는 GC(Gantry Crane)의 운영시간당 컨테이너 하역량, 컨테이너 장치장 단위면적당 처리 컨테이너량 등을 말한다. 이용률은 이용 가능한 터미널 처리시설 능력에 대해 사용한 능력을 말한다. 예를 들면 선석 이용률, 장치장 이용률 등이 이에 해당된다. 터미널 능력 대비 실적은 선석, 컨테이너 장치장, 게이트 등과 같은 컨테이너터미널의 각 하부조직, 또는 전체 터미널의 설계능력과 실제 처리량을 비교하는 것이다. 터미널의 운영효율은 위의 개념들을 포괄하는 것으로 높은 생산성 및 이용률을 보이고 터미널의 시설 능력이 충분히 이용되고 있을 때 운영의 효율이 높다고 할 수 있다⁴⁾.

터미널의 운영효율 측면에서 생산성을 높이려면 크게 시설적인 측면인 하드웨어부분과 운영적인 측면의 소프트웨어부분으로 나누어 고려할 수 있다. 적양하를 수행하는 안벽과 컨테이너의 저장을 담당하는 장치장, 안벽과 장치장 사이의 컨테이너 이송을 담당하는 이송부분, 외부로 수입 컨테이너를 반출하거나 외부에서 수출 컨테이너를 반입하는 게이트 등의 하드웨어부분에 대한 생산성 향상은 장치장의 설계 및 보완과 관련이 있다. 즉, 새로운 컨테이너터미널을 건설하는 단계에서는 하부 시스템을 최적으로

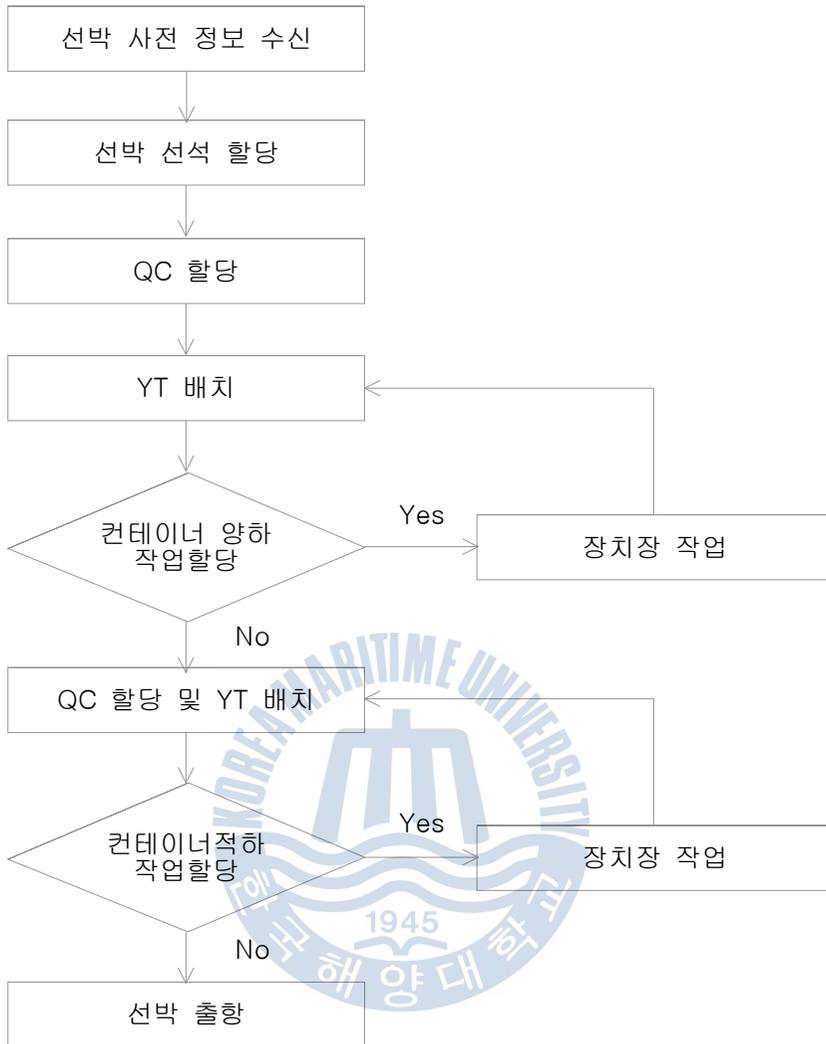
4) 박상훈, “Container terminal의 효율성 제고에 관한 연구”, 경성대학교, 석사학위논문, 1988.

로 구축하도록 설계하는 것이 중요하며, 기존 터미널의 경우에는 운영시스템의 개선 및 하드웨어의 보완 등 재개발이 필요하다.

기존의 터미널의 경우 시설적인 측면에서 생산성을 높이는 가장 단순한 방법은 장비대수를 늘리는 것이나 이것은 투자비 대비 경제성면에서 효과적인 방법이 될 수 없으므로, 장기적으로 봐서 고생산성을 위한 장비로 구조개선을 해 나가거나 신개념 장비를 개발하는 것이 바람직한 방법이다. 현재 국내에서도 고생산성의 새로운 장비의 개발이 추진되고 있으며, 국내에 도입되지 않은 신기술도 있어 이러한 신기술을 도입함으로써 하역 시스템 자체의 생산성이 향상될 것이다⁵⁾.

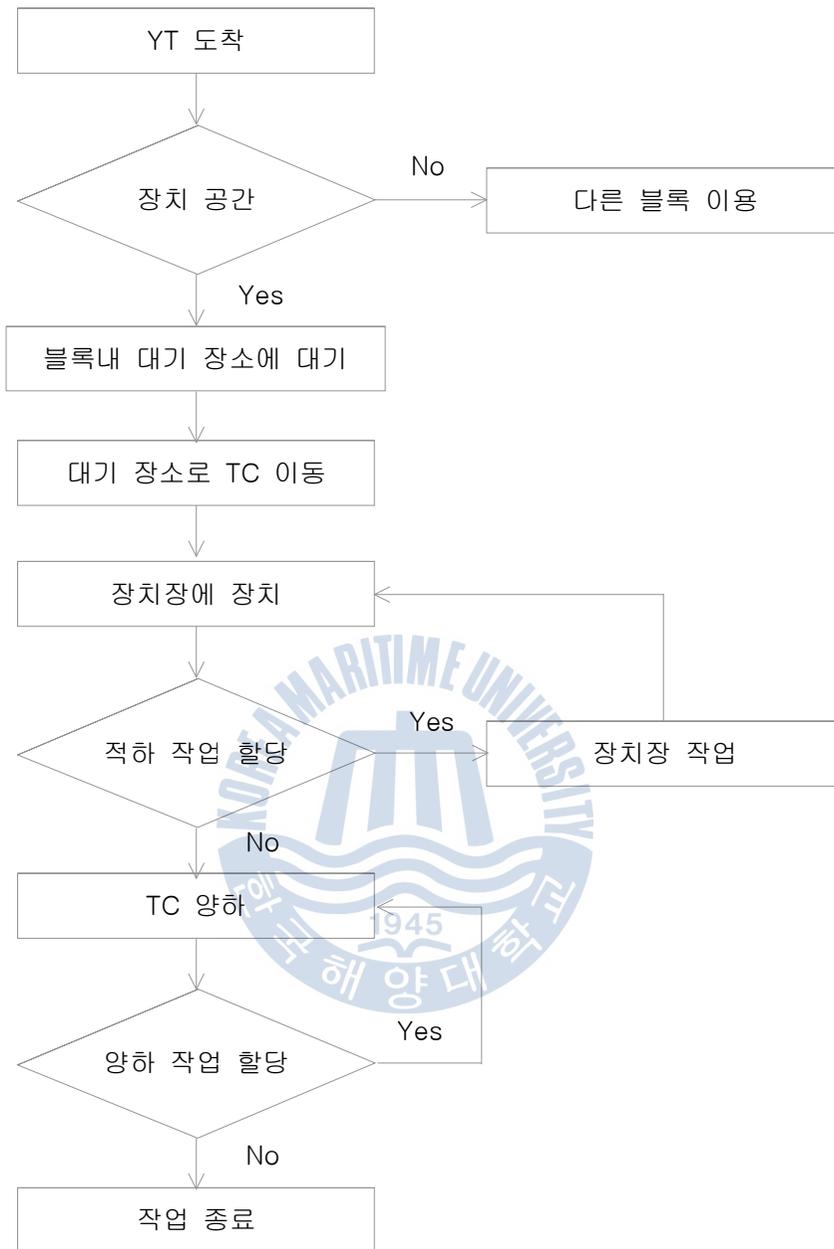
소프트웨어적인 측면은 컨테이너터미널 운영과 직접적인 관련이 있는데 컨테이너터미널 운영은 크게 두 가지로 구분한다. 첫 번째는 안벽 내 운영이고 두 번째는 장치장내 운영이다. 안벽 내 운영은 선박이 항구에 도착하기 전에 각 선석에서 작업하는 석박이 있는지, 각 선박 별로 취급할 화물량, 화물량에 따른 QC(Quay Crane)를 몇 대 할당할 것인지 그리고 각 QC별로 몇 대의 YT(Yard Tracter)를 운영할 것인지를 고려하여 운영된다. 이를 그림으로 나타내면 <그림 2-2>과 같다.

5) 최용석, 하태영, “초대형 컨테이너선 기항에 대응하는 항만생산성 예측”, 「한국항해항만학회」, 제29권 제2호, 추계학술대회논문집 pp.319-325, 2005.



<그림 2-2> 안벽 내 운영 흐름도

장치장에서는 선박이 입항하여 양하될 컨테이너를 장치장의 어느 지역에 장치할 것인지, 이미 장치장에 장치된 컨테이너를 선박에 언제 적하시킬 것인지를 실시간으로 파악하여 작업이 수행된다. 즉 각각의 작업공간에서 YT와 TC가 주어진 물량을 컨테이너터미널이 흐름에 지장이 되지 않도록 고려하여 운영한다. 장치장 운영의 흐름도는 <그림 2-3>와 같다 (하창승, 조규성, 백천현, 2007).



<그림 2-3> 장치장내 운영 흐름도

컨테이너터미널의 생산성을 높이기 위해서는 안벽 내 운영과 장치장내 운영의 효율을 동시에 높이는 것이 중요하다. 안벽 내 운영의 효율이 높더

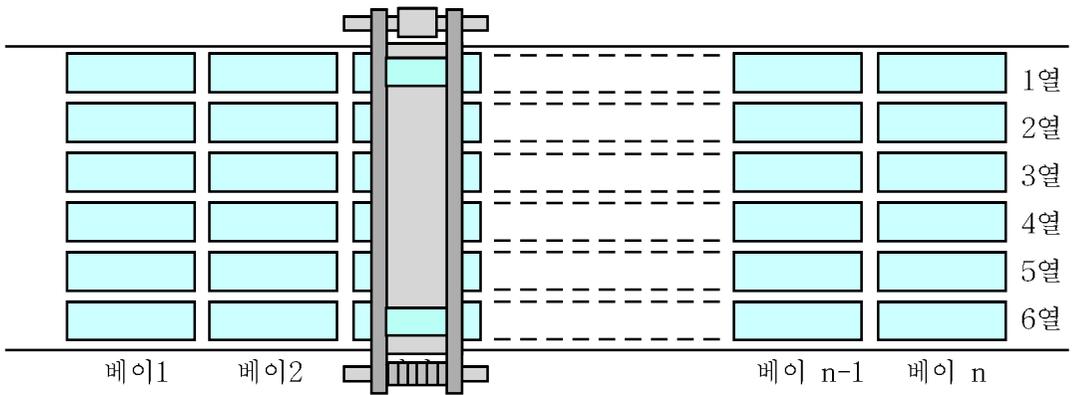
라도 장치장의 운영효율이 떨어지면, 장치장에서 병목현상이 발생하여 전체의 효율이 떨어지기 때문이다.



2. 컨테이너터미널 장치장 구성과 운영

1) 장치장 구성

여기서는 장치장을 구성하는 블록을 세부적으로 살펴본 후 장치장의 배치를 알아본다. 컨테이너터미널은 크게 안벽과 장치장 그리고 게이트로 구성되어 있으며 장치장은 블록(Block)들로 이루어져 있고 블록은 다시 베이(Bay)들로 구성되어 있다. 베이는 스택(Stack)이라고도 하는 열(Row)들로, 열은 단(Tier)들로 이루어져 있다. 그 중 장치장의 블록을 아래 그림 <2-4>에 나타내었다. 이 그림은 하나의 블록을 위에서 본 모습으로 작은 직사각형들은 하나의 열을, 세로 방향의 6개 열 묶음은 하나의 베이를 나타낸다. '베이 3' 위에 표현한 것은 TC이다. TC는 블록의 방향으로 이동하며 이 그림에서는 수평으로 이동을 하게 된다. 이 그림에서는 n개의 베이를 나타내고 있다. 각 베이는 여러 개의 열로 구성되는데 이 그림에서는 6열로 구성되어있다. 각 열은 여러 층의 컨테이너를 쌓을 수 있는데 각 층을 단이라고 한다. 그림 <2-5>는 베이의 입체모습으로 하나의 베이를 입체적으로 표현한 것인데 6열로 구성되어 있고 각 열은 대부분 5개의 단으로 구성되어 있으며, 3개의 단과 4개의 단으로 구성된 열도 각각 한 개씩 있는 것을 볼 수 있다.



<그림 2-4> 수평형 장치장의 블록

<그림 2-6>은 열이 단으로 구성되어 있다는 것을 나타내기 위하여 <그림 2-5>의 6열 만 따로 묘사한 것이다.



<그림 2-5> 베이의 입체모습

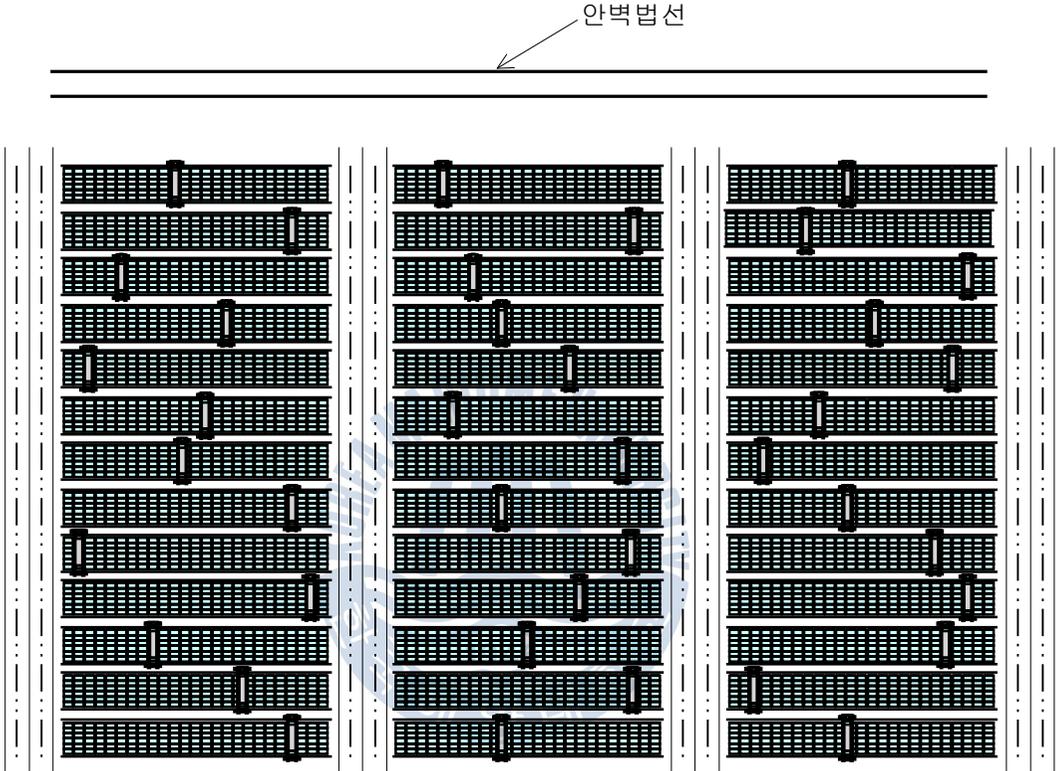
<그림 2-6> 열의 입체모습

컨테이너 장치장의 배치형태는 수평형과 수직형으로 분류할 수 있다. 배치형태란 안벽법선을 기준으로 한 블록의 배치방향을 말한다.

(1) 수평형 배치

수평형 배치 장치장이란 안벽법선과 장치장의 블록이 평행한 방향을

이루는 장치장을 말한다. 장치장의 하역장비 즉 TC(Transfer Crane)와 이송장비의 연계지점은 블록의 모든 배이가 되며 장치장에 반입하는 외부트럭과 적하를 위하여 장치장의 컨테이너를 선박에 싣기 위한 내부이송차량 모두 블록사이로 이동하게 된다.

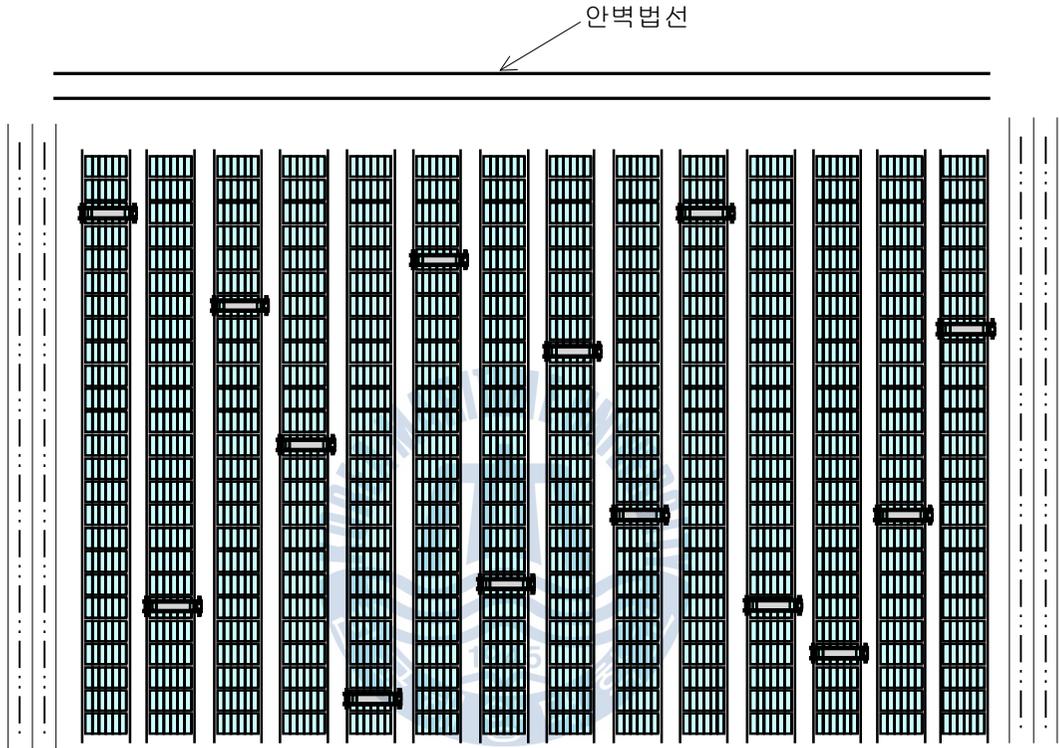


<그림 2-7> 수평형 배치 장치장

(2) 수직형 배치

수직형 배치 장치장이란 안벽법선과 장치장의 블록이 수직을 이루는 방향으로 배치된 장치장을 말한다. 장치장의 하역장비 즉 TC와 이송장비의 연계지점은 블록의 양 끝으로 제한되며 TP(Transfer Point)라고 한다. 장치장에 반입하는 컨테이너는 육측 TP에 외부트럭이 정차한 후 TC에 의해 장치장에 반입이 되고, 장치장의 컨테이너를 선박에 적하하려면 해

측 TP에 이송장비가 정차한 후 TC에 의하여 컨테이너를 이송장비에 적재한 후 안벽으로 이동하게 된다. TP의 분리로 외부트럭과 내부 이송장비가 블록사이를 지나는 경우가 없어지며 내부 이송장비와 외부트럭의 경로가 분리되어 차량의 혼잡과 사고를 피할 수 있게 된다.



<그림 2-8> 수직형 배치 장치장

2) 장치장 운영

(1) 사전 할당 방식⁶⁾

장치장을 사전에 할당하는 이유는 선박이 입항하기 전에 그 선박에서 양하하거나 그 선박에 적하할 컨테이너를 위한 공간을 사전에 준비해 두기 위해서이다. 사전에 할당된 장치장에 다른 선박의 컨테이너를 적재해 두기도 하지만, 이럴 경우 구내 이적이 발생하여 터미널 생산성을 떨어뜨리기도 한다.

선박에 Booking 된 컨테이너들은 보통 선박도착 6, 7일 전부터 터미널로 반입되기 시작하며, 선사, 운송사 또는 화주로부터 EDI(Electronic Data Interchange)를 통해 사전에 전송된 정보와 비교하여 터미널 반입 여부와 적재장소를 결정하게 된다. 장치장을 사전 할당하는 방식은 크게 Grouping 방식과 Random Grounding 방식으로 분류 할 수 있다.

가. Grouping 방식

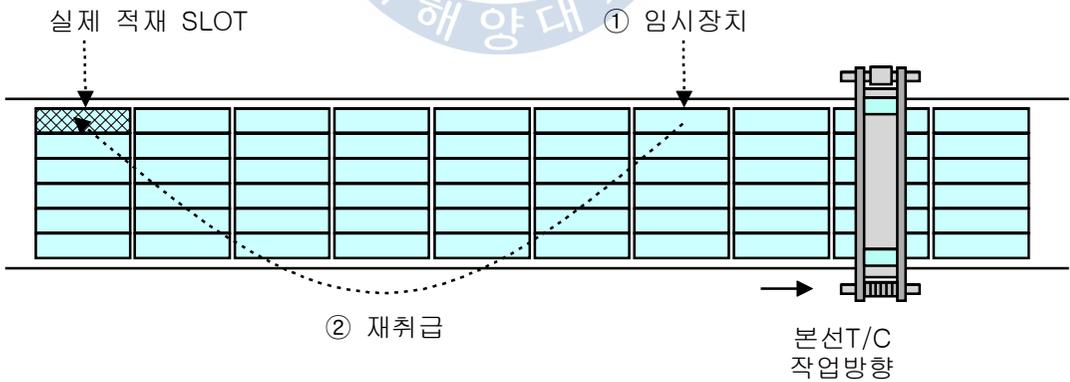
Grouping 방식이란 선박의 컨테이너 양하 컨테이너 또는 선적 컨테이너 적재를 위해 장치장의 공간을 몇 개의 Group으로 지정하여 사전에 할당하는 방식이다. 이 방식은 입항 예정인 선박의 화물을 임시 보관하기 위해 이 선박에 선적할 화물의 양만큼의 공간을 야드 장치장에 미리 할당하기 때문에 이 공간이 빈 상태로 있다고 하더라도 다른 선박의 화물은 보관 할 수 없다.

Grouping 방식의 장점은 일괄 작업이 가능하므로 작업생산성을 높일 수 있다는 것이다. 즉, 이 방식은 할당된 공간이 일정한 장소에 집중되어 있기 때문에 선박 접안 시 소수의 야드 장비를 투입하여 빠른 시간 내에 선박에 필요한 적업의 마무리가 가능하고 야드 장비가 한쪽 방향으로 작

6) 유주영, 송용석, 남기찬, 광규석, “컨테이너 터미널의 효율적인 장치장 활용 방안에 관한 연구”, 「한국항해항만학회지」, 제30권 제3호, pp.203-209, 2006. 김현, 신승식, 송용석, 「컨테이너 하역론」, pp.185-167, 2009.

업이 가능하여 야드 장비의 동선을 최소화할 수 있다는 것이다.

Grouping 방식의 단점은 이 방식을 적용하기 위해서는 매우 넓은 공간이 필요하다는 점과 야드 장비의 생산성이 낮아질 수 있다는 점이다. 넓은 공간이 필요한 이유는 일단 할당된 공간은 해당 선박을 위한 적재 공간이므로 다른 선박의 컨테이너를 적재하는 것이 힘들기 때문이다. 그리고 야드 장비의 경우 본선작업 중일 때 게이트로 반입된 다른 선박의 컨테이너를 적재하려면 본선작업 중인 위치에서 반입된 컨테이너를 할당할 위치로 이동을 한 후 작업을 해야 하기 때문에 야드 장비의 동선이 매우 길어지는 문제가 발생한다. 그래서 이로 인하여 본선 작업 생산성이 떨어지기 때문에 본선 작업 중인 현재의 작업위치에서 가장 가까운 위치에 일단 임시 장치하게 된다. 그리고 본선 작업이 완료된 후 임시로 장치한 해당 컨테이너를 원래 할당되어 있던 공간으로 이적을 하게 된다. 이렇게 임시 장치를 하게 될 경우는 많은 횟수의 재조작과 구내 이적이 발생하게 된다. 개념적인 형태는 아래 <그림 2-9>과 같다.



<그림 2-9> Group 방식의 적재 방법

나. Random Grounding 방식

Random Grounding 방식이란 비교적 처리해야 하는 화물량에 비해 장치장의 대상으로 여러 군데 분산하여 할당하는 방식으로, Grouping 방식과는 달리 게이트를 통하여 반입되는 컨테이너 정보와 사전에 EDI를 통해 전송된 컨테이너 정보를 비교하여 실시간으로 장치장의 위치를 할당하는 방식이다.

이 방식의 장점은 사전에 장치장을 할당하지 않고, 게이트를 통해 반입되는 순서대로 장치장을 할당하기 때문에 낭비되는 공간이 최소화된다는 점이다. 반면, 할당된 위치가 Grouping 방식처럼 특정지역에 집중되어 있지 않고, 전 장치장에 걸쳐서 넓게 분산됨으로써 많은 야드 장비가 투입되어야 하고, 야드 장비가 한 방향으로 작업이 불가능하기 때문에 야드 장비의 동선이 매우 길어진다는 단점이 있다. 그러므로 이 방식은 Grouping 방식에 비하여 더욱 정밀한 시스템이 필요하게 된다.

(2) 터미널의 야드 운영방식⁷⁾

터미널의 야드 운영방식은 일반적으로 Job Request 방식과 Job Ordering 방식으로 나눌 수 있다. 국내 컨테이너터미널은 현장의 작업요청에 대해 시스템이 작업 할당을 하는 Job Request 방식을 사용하는 반면, 국외 컨테이너터미널은 시스템 상에 미리 정해진 순서에 따라 현장에 작업지시를 하는 Job Ordering 방식을 사용하고 있다. Job Request 방식과 Job Ordering 방식은 다음과 같다.

가. Job Request 방식

이 방식은 QC, RTG 등 현장에서 작업을 요청하면 계획에 근거하여 시스템이 대상작업 목록을 현장단말기에 표시하며, 작업은 현장에서 선택하

7) 송용석, 남기찬, 유주영, 김태원, “컨테이너 터미널의 장치장 활용 방안에 관한 연구”, 한국항해항만학회지 제30권 제3호 pp. 203-209, 2006.

여 작업완료 후 확정하는 방식이다. 본선작업이나 야드 반·출입 작업을 수행할 때에 장치장이나 장비를 터미널 상황에 따라 통제요원과 언더맨의 유기적인 협조체제 아래 탄력적으로 운영한다. 이 방식은 작업 현장 중심의 운영방식으로 작업자에게 재량권이 주어지므로 작업의 유연성이 높고 운영 시스템의 난이도가 높지 않아 시스템 구축이 용이하다. 그러나 시스템에 의해 최적화된 중앙통제가 불가능하므로 생산성이 현장요원 및 장비기사의 숙련도 및 성실성에 크게 좌우되어 일정수준 이상의 생산성 향상은 기대하기 어렵다는 단점이 있다.

그리고 이 방식은 장비할당, Sequence 통제, 작업수정지시를 Manual에 의해 현장인력이 수행하는 형태이며, 작업을 통제실에서 유무선으로 통제하므로, 작업분산화 효과가 있어서 작업 균형성이 좋다. 또한 작업자가 작업할 장소를 선택하여 작업지시를 받은 후 작업의 순서를 파악하여 작업을 진행하므로 국내의 경우 작업의 편이성이 높은 반면, 사전에 Hatch별로 작업순서만 현장에서 결정하므로 본선작업이 변경되는 경우에는 재취급이 증가하고, RTG 이동 역시 증가하며, RTG Conflict 등이 발생하여 생산성이 저하할 수 있다.

나. Job Ordering 방식

이 방식은 계획, 반·출입, 장비의 가용성, 교통량 등을 시스템 스스로가 계산하여 실시간으로 각 장비에 작업을 지시하고 현장에서는 작업수행 후 작업완료를 확정하는 방식이다. Ship/Yard Planning을 기준으로 하여 장비 작업을 할당하며, 작업변경이 잦은 국내 터미널에서는 작업변동사항이 많이 발생하므로 화물 흐름이 중단되거나 생산성이 하락하는 등의 문제 때문에 잘 활용하지 않고 있으나, 최근 정보기술의 발달로 Job Order 방식으로의 전환하기 위한 방안을 모색하고 있다.

이 방식은 터미널의 전체 상황을 시스템이 파악하고 최적화 알고리즘

에 따라 최적의 작업지시와 통제를 수행하여 생산성 향상을 기할 수 있어서 자동화 터미널에 적합한 반면, 정교한 시간예측, 터미널 상황의 실시간 모니터링, 높은 수준의 최적화 알고리즘 등에 의한 통합관제 시스템의 기술적 난이도가 높아 시스템 구축이 어렵다는 단점이 있다.

Job Ordering 방식은 장비할당, Sequence 통제, 작업 수정지시가 시스템에 의해 실시간으로 이루어지며, 작업의 통제 또한 시스템에 의해 제어되고, 전 장치장에서 순차적으로 작업이 진행되므로 작업의 집중현상은 Job Request 방식에 비해 적다. 이 방식은 단말기에 나타나는 순서대로 작업을 진행하며 상황에 따라 현장에서 순서를 변경할 수 있다. 이를 채택하고 있는 외국 터미널의 경우를 보면 작업의 편이성이 높고, 실시간 Automatic Ship Planning의 작동으로 본선작업이 변경된다고 하더라도 시스템이 GC별, 컨테이너별로 작업 순서를 제어하므로 생산성이 극대화되는 장점이 있지만, 작업이 잦은 경우에는 재취급이 발생하고, Planning과 실제작업이 작업자에게 혼동을 줄 수 있기 때문에 생산성이 나빠질 가능성이 있으나 시스템에 의해 구동되므로 복잡한 작업의 처리가 가능하고 Dual Cycle Operation 및 YT Pooling이 가능하다.

(3) 장치장 운영 및 관리 방식⁸⁾

가. Reference 방식

현재 컨테이너터미널의 장치장은 대부분 정보시스템에서 개별 컨테이너에 부여한 Reference에 의해 운영, 관리되고 있다. 컨테이너에 부여한 Reference는 선박정보, 중량(Weight)정보, Size(20ft, 40ft, 45ft등)정보, 최종 목적항(POD; Port of Destination) 정보 등이다. 선박 Reference를 통

8) 송용석, 남기찬, 유주영, 김태원, “컨테이너 터미널의 장치장 활용 방안에 관한 연구”, 「한국항해항만학회지」, 제30권 제3호 pp. 203-209, 2006.

해 선박별 화물을 분류하고, 중량Reference를 통해 선박의 안정성을 도모 (선박의 무게중심을 맞추기 위해 하단에 큰 중량, 상단에 작은 중량 컨테이너를 적재)하며, Size Reference를 통해 컨테이너 규격별로 적재하며, POD Reference를 통해 다음 기항지별 컨테이너를 분류한다. 그러나 Reference에 의하여 운영과 관리를 할 때에는 동일 장치공간에 선박 reference가 다른 컨테이너가 있을 경우 제조작을 통해 다른 장소로 구내 이적을 시켜야 하는 단점이 있다.

나. Time Base 방식

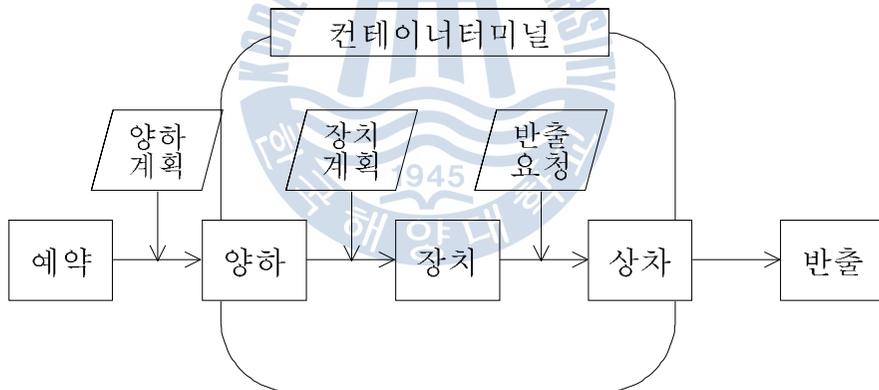
이 방식은 Reference 방식의 단점을 보완하기 위해 컨테이너 Reference에 Time Reference를 추가한 방식이다. Reference에 Time 정보를 추가하게 되면 상, 하단에 적재된 컨테이너의 선적 시간 확인이 가능해지기 때문에 제조작과 구내 이적의 횟수를 감소시킬 수 있다. 예를 들어 장치장에 적재되어 있는 컨테이너를 Time Base로 관리하게 될 경우 상, 하단 컨테이너 선적 Time정보를 비교하여 제조작 여부를 판단하게 되는데, 상단의 컨테이너 선적 Time이 더 빠른 경우에는 제조작이 필요 없게 되므로 효율이 높아지게 된다.

3. 컨테이너의 흐름

터미널에서 수행되는 업무를 컨테이너의 흐름으로 구분하면 수출과 수입 그리고 환적으로 나눌 수 있다.

1) 수입 컨테이너

수입 컨테이너의 흐름과 관련된 계획들은 다음 <그림 2-10>과 같다(이재민, 2003). 선박이 접안하면 선박에 적재되어 있는 수입컨테이너들을 미리 세워진 양하 계획에 따라 GC를 이용하여 YT에 양하하게 된다. 양하한 수입 컨테이너는 이송과정을 거쳐 적재할 장치장으로 옮겨지고 TC를 이용하여 장치하게 된다. 이 때 기준이 되는 계획을 장치계획이라고 한다. 장치된 수입 컨테이너는 화주의 반출요청에 의하여 외부 트럭에 상차된 후 게이트를 통한 반출이 일어난다. 이 때 재취급이 발생할 수 있다.

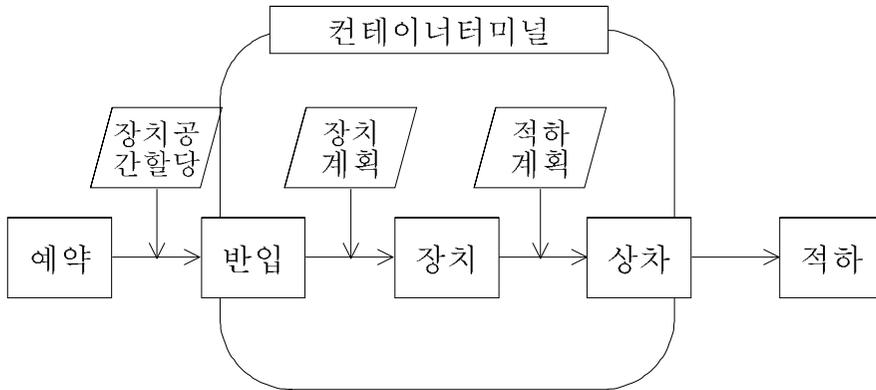


<그림 2-10> 수입 컨테이너 흐름

2) 수출 컨테이너

수출 컨테이너의 흐름은 아래 <그림 2-11> 와 같다.(이재민, 2003) 외부 트럭에 실려 게이트를 통과하여 장치장으로 반입된 수출 컨테이너들은 미리 할당된 베이로 이동한 후 TC에 의하여 장치하게 된다. 수출용 선박

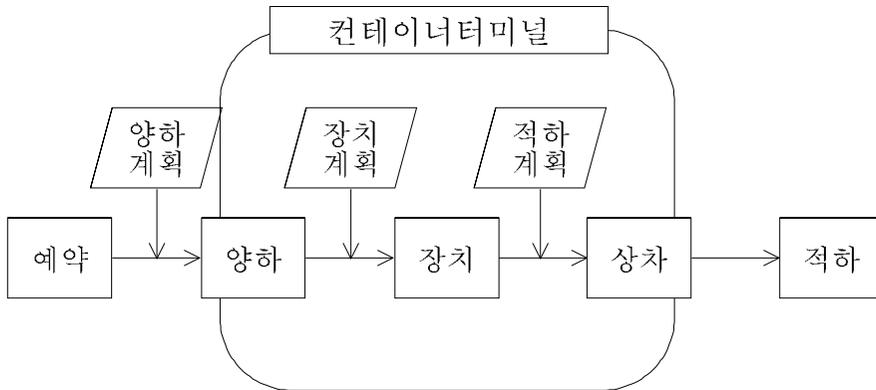
에 대한 하역작업이 시작되면, TC에 의하여 YT에 상차된 후 안벽으로 이동한다. 이때 재취급이 발생할 수 있다. 이동된 컨테이너는 GC에 의하여 적하계획에 따라 적하된다.



<그림 2-11> 수출 컨테이너 흐름

3) 환적 컨테이너

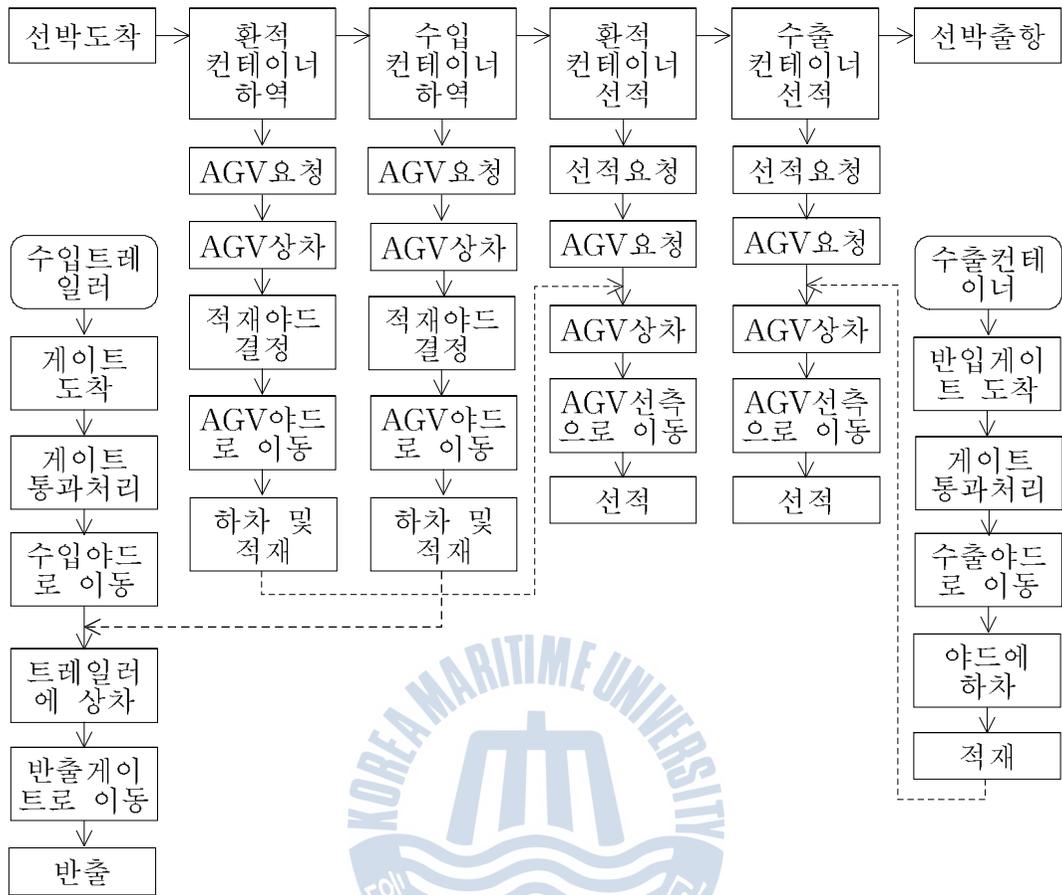
환적 컨테이너 흐름은 다음 <그림 2-12>과 같다. 환적 컨테이너는 선박이 접안하면 수입컨테이너들처럼 GC를 이용하여 YT에 양하하게 된다. 양하한 컨테이너는 이송과정을 거쳐 적재할 장치장으로 옮겨지고 TC를 이용하여 장치하게 된다. 향후 적하를 할 선박이 도착한 후 환적용 적하작업이 시작되면, 적하계획에 따라 TC에 의하여 YT에 상차된 후 안벽으로 이동한다. 이동된 컨테이너는 GC에 의하여 적하된다.



<그림 2-12> 환적 컨테이너 흐름

재취급 관점에서 보면 수출컨테이너의 경우 반입하는 컨테이너의 순서가 적하순서와 무관하게 무작위로 발생하므로 재취급이 발생할 수 있다. 수입컨테이너의 경우는 양하한 후 장치장에 장치된 컨테이너의 순서와 무관하게 반출이 일어나므로 재취급이 발생할 수 있다.

선박이 도착하여 출할 할 때까지 처리하는 수출 컨테이너와 수입컨테이너 환적컨테이너를 기준으로 표현한 컨테이너터미널의 업무 흐름도를 보면 다음 <그림 2-13>과 같다.



<그림 2-13> 컨테이너터미널의 업무흐름도

제3절 생산성 관련 연구

수출컨테이너의 경우 수행되는 작업은 반입작업, 이적작업 그리고 적하작업으로 이루어져 있으며 이들 작업과 관련하여 생산성을 높이기 위한 관련 연구가 진행되어 왔다.

먼저 반입작업과 관련된 연구를 살펴본다. 강재호, 오명섭, 류광렬, 김갑환(2004)은 컨테이너터미널 장치장에서 반입 컨테이너의 무게 정보를 활용하여 재취급이 발생할 가능성이 낮은 위치에 신규 반입되는 컨테이너를 장치하는 방안을 제시하였다. 이 연구에서 최소 차이 우선 휴리스틱(Minimum Difference First Heuristic, 이하 MDF 휴리스틱)을 제안하였으며, 이 휴리스틱을 이용하여 장치할 경우, 무게를 고려하지 않고 장치할 때 보다 효과가 높은 것으로 나타났다. 본 논문에서도 반입과정에서 컨테이너를 장치할 때 이 논문에서 제시한 MDF기법을 이용하여 반입을 하게 된다. 이 논문에서 다루는 MDF 휴리스틱은 컨테이너를 장치하는 과정에서 컨테이너의 사전 처리를 전혀 고려하지 않지만 본 논문에서 제안하는 휴리스틱은 사전 처리를 실행하며 그 점이 다른 점이다.

강재호, 류광렬, 김갑환(2005)도 컨테이너터미널 장치장에서 반입 컨테이너의 부정확성이 재취급을 얼마나 발생시킬지 추정하는 방안을 소개하고, 무게그룹이 다른 컨테이너들 간의 혼적을 허용하는 상황에서 반입되는 컨테이너의 장치 위치를 결정할 수 있는 규칙을 생성하는 방안을 제안한바 있다. 시뮬레이션을 사용하여 제안하는 방안의 효과를 분석하였으며 이 방안으로 장치할 경우 하나의 스택에서 동일한 무게 그룹으로 추정된 컨테이너들만 장치하는 기존의 방식에 비해 20%정도 줄일 수 있음을 확인하였다. 이 방안이 본 논문에서 제안하는 방안과의 가장 큰 차이점은 컨테이너를 무게기준으로 분류하여 작업하는지 여부와 사전 처리를 실행하는지 여부라고 할 수 있다.

동일 베이 내의 컨테이너들의 반입이 모두 완료된 뒤에 적하할 때까지의 유휴시간을 이용하여 재취급을 방지하기 위한 이적에 관한 연구도 많이 있었다.

오명석, 강재호, 류광렬, 김갑환 (2005)은 복수 크레인을 활용하여 블록 내에서 컨테이너를 이적하기 위한 연구를 하였으며, 이 연구에서는 적하작업에서 발생하는 지연을 최소화하기 위하여 장치장에서 발생하는 유휴시간을 활용하여 블록 내에 흩어져 있는 컨테이너들을 적하 순서에 맞춰 재취급이 발생하지 않게 모으는 방법을 연구하였으며, 크레인 간의 간섭에 의한 지연을 고려한 이적 계획을 수립하는 휴리스틱을 제안하였다.

강재호, 류광렬, 김갑환 (2004)은 분지한계법을 이용하여 최소한의 컨테이너 이동 횟수를 보장하는 계획을 탐색하는 연구를 하였다. 이 연구 역시 반입이 완료된 후 장치장에서 반출될 때까지의 유휴시간을 이용한다는 점에서 앞의 연구와 유사하나 복수 크레인간의 간섭에 대한 제한이 없다는 점이 큰 차이점이라고 할 수 있겠다.

배종욱, 박영만, 김갑환 (2006)도 이적계획을 다루고 있으며, 자동화 컨테이너의 운반시간을 줄이기 위한 방안으로 운반시간비용 및 재취급 작업비용 그리고 이적작업에 따른 운반시간비용을 고려한 총비용을 최소화하는 혼합정수계획모형을 제안하였다.

김민정, 박기역, 박태진, 류광렬(2007)은 수직형 자동화 컨테이너터미널의 장치장에서 블록내 재정돈 계획을 수립하는 알고리즘을 제안하였는데 장치장 재정돈 작업계획을 목표장치형태 결정과 크레인 작업계획으로 2단계로 나누어 수립하는 방식이다. 목표장치형태 결정단계에서는 적하작업을 최고의 성능으로 할 수 있도록 재정돈 후, 탐색을 통하여 결정하고, 크레인 작업계획 단계에서는 최단시간에 원래장치 형태에서 목표장치로 재정돈 할 수 있는 트레인 스케줄을 탐색하여 결정한다. 이 연구에서는 시물

레이션을 통해 적하지연 시간을 56%, 재취급 횟수를 62%감소시켰음을 보였다.

강재호, 오명섭, 류광렬, 김갑환(2005)은 적하작업에서 재취급이 발생하지 않게 블록내 컨테이너들을 모으는 휴리스틱을 제안하였다. 이 휴리스틱은 두 단계로 구성되어 있는데 대상 컨테이너들의 장치상태를 고려하여 반출 시 재취급이 발생하지 않게 한 스택에 쌓을 수 있는 컨테이너들을 그룹으로 묶는 단계와 이 그룹을 바탕으로 이적 작업에 소요되는 시간을 줄이는 방향으로 컨테이너 이동 순서를 생성하는 단계로 구성되어있다. 시뮬레이션을 통하여 이 계획이 실시간에 수립되는 것을 보였다.

위와 같은 이적을 다룬 연구들의 목표는 -장치장의 생산성을 높이기 위하여 재취급을 줄이고자 하는- 본 연구에서 추구하는 바와 동일하나, 그 목표를 달성하기 위하여 수행하는 처리의 시점이 장치장에 반입이 진행 중일 때 인가? 또는 반입이 완료된 후인가? 하는 점이 다르다고 본다.

원성환, 김갑환(2009)은 컨테이너터미널의 생산성을 향상시키기 위하여 YC의 효과적인 배치 방안에 대하여 연구를 실행하였다. 이 연구에서는 컨테이너 장치장의 블록별로 YC를 몇 대씩 할당하여 작업하는 것이 효과적인가를 분석하기 위하여 장치계획을 네트워크로 표현하여 수입컨테이너, 환적컨테이너 그리고 수출컨테이너에 대하여 YC의 최적 배치 방안을 구하려고 시도하였으며, 현실적인 문제는 적절한 시간 내에 풀 수 있었다. 이 연구에서 제시하는 방안이 장치장을 대상으로 하는 방안이라는 측면에서는 본 연구와 동일하나 본 연구는 장치장의 베이내 적재를 중심으로 이루어지는 방안이고 이 연구는 장치장의 YC 배치를 위한 방안이라는 면에서 차이가 있다.

반입하는 과정에서 재처리를 줄이는 방안은 한 베이내의 컨테이너 중 일부를 이동하므로 적은 비용이 들지만 이적은 베이내의 전체 컨테이너를

이동해야 하므로 많은 비용이 드는 작업이다. 즉 반입 시에 선처리를 하는 방안이 이적 작업보다 훨씬 적은 노력으로 더 큰 효과가 있다. 그러므로 반입 시에 재처리 방지를 하는 본 연구가 가치가 있다고 생각된다. 다음의 <표 2-1>은 이상의 관련 연구를 요약한 것이다.



연구자	연구 내용	적용 기법
강재호, 오명섭 류광렬, 김갑환 (2004)	수평 장치장에서 적하시 재취급 최소화를 목적으로 반입 시 장치 위치를 결정하는 방안제시	휴리스틱
강재호, 류광렬 김갑환 (2004)	혼적이 발생할 수 있는 장치장에서 컨테이너들을 무게를 기준으로 그룹으로 분류하여 이적을 최소화하는 장치위치를 결정하는 규칙을 생성	휴리스틱
오명섭, 류광렬 김갑환 (2005)	수평 장치장에서 복수 크레인간의 간섭을 고려하여 블록 내 이적 순서를 결정하는 방안제시	휴리스틱
배종욱, 박영만 김갑환 (2006)	수직 장치장에서 이적시간과 이적 후 이동시간을 최소화하기 위해, 장치위치할당, 장비작업순서문제로 분할 후 방안 제시	동적 계획모형
강재호, 류광렬 김갑환 (2004)	장치장에서 적하시 재취급 최소화를 위하여 배이내 재정돈 순서	분지 한계법
강재호, 오명섭 류광렬, 김갑환 (2005)	수평 장치장에서 적하시 재취급 최소화를 위하여 블록내 이적을 위한 컨테이너 이동순서 제시	휴리스틱
원승환, 김갑환 (2009)	적하 양하 환전 등 모든 작업에 대하여 장치장에서 야드 크레인의 배치 순서 및 전체 비용 산출 모델 제시	네트워크
김민정, 박기역 박태진, 류광렬 (2007)	수직형 자동화 컨테이너터미널의 장치장에서 블록내 재정돈 작업 계획을 수립하는 알고리즘 제안	휴리스틱

<표 2-1> 관련 연구의 요약

제3장 제안 알고리즘

제1절 제안 알고리즘 고려사항

앞 장에서 컨테이너터미널의 생산성과 컨테이너터미널의 흐름을 알아보았다. 컨테이너터미널의 생산성은 안벽에서의 작업의 효율성에 큰 영향을 받으며, 안벽에서 이루어지는 작업은 수출 컨테이너, 수입 컨테이너 그리고 환적 컨테이너에 대하여 이루어지는 양하작업과 적하작업으로 구성된다.

수출 컨테이너를 대상으로 적하 작업이 이루어질 때에는 선박의 안정성 때문에 무거운 컨테이너를 선박의 아래에 적재하는 것을 원칙으로 한다. 이 원칙대로 선박에 적재할 수 있도록 컨테이너 반입 시에 장치장에 적재를 하려고 노력하지만 여러 가지 요소들로 불가능할 경우, 유희시간을 이용하여 이적을 실행하여 선박의 적재를 변경하게 된다. 이적을 할 수 없을 경우에는 적하시에 재취급이 발생하여 컨테이너터미널의 생산성을 저해하게 된다.

먼저, 알고리즘에 대하여 구체적으로 언급을 하기 전에 이적과 재취급 그리고 선처리에 대하여 용어부터 알아본다. 이적은 장치장에서 발생하는 유희시간을 활용하여 블록 내에 흩어져 있는 대상 컨테이너들을 적하 순서에 맞춰 재취급이 발생하지 않게 모으는 작업을 말하며, 재취급이란 반출하는 과정에서 반출하고자 하는 컨테이너의 상단에 장치된 컨테이너를 부득이하게 다른 곳으로 옮기는 부가 작업을 말한다. 이적은 베이 전체를 대상으로 하는 작업이며 재취급은 하나의 컨테이너를 대상으로 하는 작업이다. 선처리는 재취급과 유사한 개념의 작업이지만, 재취급이 적하를 위하여 장치장에서 컨테이너를 반출하는 과정에서 컨테이너의 이동을 의미한다면, 선처리는 반입을 위하여 장치장에 컨테이너를 적재하는 과정에서

발생하는 작업이다. 즉 이적이거나 재취급은 적재가 완료된 후 실행하는 작업이고, 선처리는 반입과정에서 적재가 완료되기 전에 수행하는 작업이다.

본 장에서는 수출 컨테이너의 경우에 컨테이너터미널의 생산성을 높일 수 있는 알고리즘들을 제안한다. 이 알고리즘들은 수출 컨테이너에 대하여 동일한 목적항을 가진 베이에 대하여 컨테이너를 장치할 때 적용 가능한 방안들이다. 즉, 이론적 고찰에서 살펴본 것처럼 컨테이너에 부여한 Reference는 선박정보, 중량정보, 크기정보, 최종 목적항정보등이 있는데 이 알고리즘은 이런 Reference들을 통해 하나의 목적항과 같은 크기, 동일한 POD로 구분되어진 베이에 대하여 적용하는 알고리즘이다.

이 방안들은 확보하는 컨테이너에 대한 정보에 따라 두 가지 종류로 나누어진다. 먼저 확보하는 정보가 반입되는 시점에 해당 컨테이너의 무게로 제한되는 경우에 적용할 수 있는 두 가지의 방안을 먼저 제시한다.

첫 번째 방법은 장치장으로 컨테이너를 반입할 때, 장치하는 컨테이너의 무게가 향후 장치할 컨테이너들의 무게보다 무거워서 그 장치로 인해 향후 반출 시에 재취급이 발생할 것이 예상되는 시점에 선처리를 함으로써 재취급을 줄이는 방안이다. 이 선처리는 예상처럼 향후 이 컨테이너 보다 더 가벼운 컨테이너가 반입될 경우 재취급을 막을 수도 있으나 이 컨테이너보다 가벼운 컨테이너가 반입되지 않을 경우 불필요한 이동을 유발할 수도 있는 위험이 있다. 두 번째 방안은 불필요한 이동을 유발할 가능성은 없는 방안으로 장치장에서 컨테이너를 반입할 때, 향후 반출 시 재취급이 발생하는 것이 확실한 시점에 선처리를 하는 방안이다.

확보하는 정보가 반입되는 시점에 해당 컨테이너로 제한되는 것이 아니라 모든 컨테이너의 무게로 확대되는 경우에 적용할 수 있는 방안은 다음과 같다.

이 방법은 모든 컨테이너의 무게를 미리 알고 있으므로 컨테이너의 무

게가 아닌 무게의 순서를 기준으로 작업을 시행한다. 이 방안은 위의 첫 번째 방법과 같이 재취급이 발생할 것이 예상되는 시점에 선처리를 함으로써 재취급을 줄이는데, 모든 컨테이너의 무게를 알고 있으므로 위의 방법과 달리 불필요한 이동을 유발할 가능성이 상대적으로 낮은 방법이다.

세 방안 모두 반입을 할 때는 MDF 휴리스틱을 기반으로 반입을 한다. 비교를 위하여, 먼저 선처리가 발생하지 않은 MDF 휴리스틱을 실행하는 예를 보인다. MDF 휴리스틱은 신규 반입된 컨테이너의 무게와 이미 장치된 컨테이너들의 무게를 비교하여 장치장에서 반출될 때 재취급이 발생되지 않을 것 같은 위치에 컨테이너를 장치하는 방법이다.

<그림 3-1>은 컨테이너가 장치장에 반입되는 순서를 나타내는데 제일 먼저 16t, 그다음이 10t의 컨테이너 순이다. <그림 3-2>는 <그림 3-1>의 순서대로 컨테이너가 반입될 경우 MDF 휴리스틱으로 한 베이 내에서 컨테이너들을 장치하는 과정을 보여주고 있다. <그림 3-1>과 <그림 3-2>의 실선으로 된 작은 사각형들은 컨테이너를 나타내며 그 안의 숫자는 무게를 나타내고 t는 무게 단위 ‘톤’을 나타낸다. <그림 3-2>의 각 단계에서는 하나의 베이를 나타내는데 점선으로 된 작은 상자 하나는 장치장의 한 단을 나타내며 컨테이너가 적재될 수 있는 공간이다. 세로로 된 3개의 점선으로 된 상자는 3단으로 된 베이의 한 열, 즉 하나의 스택을 나타내며, 4개의 열로 구성된 12개의 점선으로 된 전체는 3단 4열의 베이 하나를 나타내고 있다. <그림 3-2>는 각 단계별로 컨테이너가 적재되는 과정을 나타내고 있는데 1)단계에서 10)단계까지 10단계를 나타내고 있다. 각 단계에서 컨테이너 하나를 적재할 수도 있고, 선처리를 할 수도 있다. 1)단계를 예로 들면 16톤의 컨테이너를 1열의 스택, 1단에 반입한 후의 상태를 나타낸다. 그림아래 나타난 표현은 컨테이너 무게와 적재된 열 위치를 나타내는 것으로 1)의 경우 ‘16t - 1열’ 이라는 것은 1단계에서 16톤의 컨테

이너를 1열에 적재하였다는 것을 의미한다.

16t 10t 21t 6t 4t 12t 25t 24t 3t 18t

→
컨테이너 반입순서

<그림 3-1> 컨테이너의 반입 순서



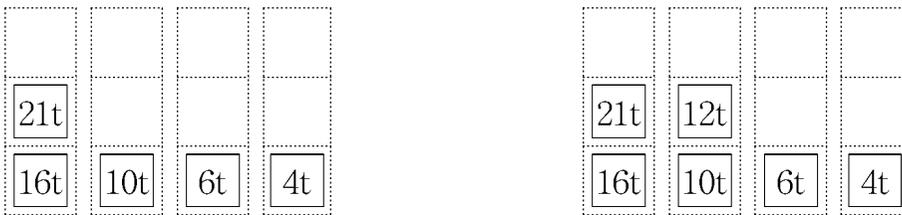
1) 16t장치 - 1열

2) 10t장치 - 2열



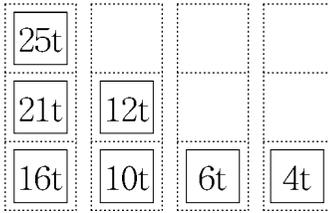
3) 21t장치 - 1열

4) 6t장치 - 3열

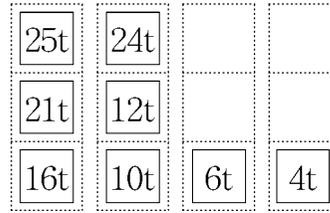


5) 4t장치 - 4열

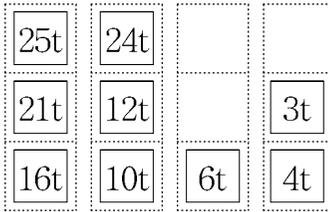
6) 12t장치 - 2열



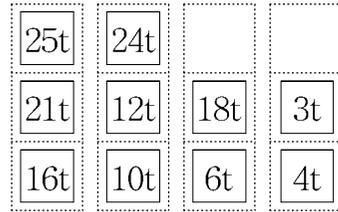
7) 25t장치 - 1열



8) 24t장치 - 2열



9) 3t장치 - 4열



10) 18t장치 - 3열

<그림 3-2> MDF 휴리스틱의 적재 과정

위의 그림에서 1)단계에서 10)단계까지 순서대로 컨테이너가 적재되는 적재과정을 나타내고 있으며 적재과정 중에 어떠한 이동도 일어나지 않는다는 것을 알 수 있다. 이 과정대로 장치를 하면 무작위로 장치한 경우보다 재취급의 발생 횟수는 상당히 줄어든다. 장치장에서 컨테이너를 선박에 적하할 때 반출이 일어나는데 컨테이너를 장치장에서 반출하는 과정은 무거운 무게의 컨테이너를 먼저 반출하게 된다. 반출하게 되는 순서를 보면 장치장에 남아 있는 컨테이너 중 가장 무거운 컨테이너가 가장 먼저 반출된다. 25t를 시작으로 24t, 21t, 18t, 16t, 12t, 10t 그리고 6t의 순서로 반출이 일어나는데 이 과정에서는 재취급이 발생하지 않는다. 그러나 4t를 반출하려고 할 때 3t의 컨테이너가 4t 컨테이너의 위에 있으므로 다른 곳으로 옮겨야 한다. 이 때 재취급이 발생하며, 결국 이 예에서 발생하는 전체 재취급 횟수는 1회가 된다. 앞으로 언급하는 알고리즘들의 반입과정과 반출과정도 지금과 유사한 방식으로 진행된다.

먼저 제안하는 휴리스틱 알고리즘에 사용하는 기호는 다음과 같다.

S : 한 베이 내의 스택의 전체 수

n_0 : 한 베이 내에서 현재 비어있는 스택의 수

m_i : i 열에 적재된 컨테이너 중 가장 무거운 컨테이너의 무게

ms_i : i 열에 적재된 컨테이너 중 가장 무거운 컨테이너의 무게순서

w_0 : 현재 장치하려고 하는 컨테이너의 무게

ws_0 : 현재 장치하려고 하는 컨테이너의 무게순서

w_i^k : i 열의 위에서 k 번째 컨테이너의 무게, 스택에 하나의 컨테이너만 있을 경우는 w_i^2 의 값은 0이 된다.

ws_i^k : i 열의 위에서 k 번째 컨테이너의 무게순서, 스택에 하나의 컨테이너만 있을 경우는 ws_i^2 의 값은 0이 된다.

D_{ij} : i 열의 상단 컨테이너를 j 열로 이동한다면 그 이동으로 발생하게 되는 상단 컨테이너들의 무게 합차이. $D_{ij} = w_i^2 - w_j^1$ 을 의미한다.

c_i^k : 아직 반입되지 않은 컨테이너들 중 i 열의 위에서 k 번째 컨테이너보다 무거운 컨테이너들의 개수. 스택에 하나의 컨테이너만 있을 경우 c_i^2 의 값은 적재되지 않고 남아있는 모든 컨테이너의 수가 된다.

S_{ij} : i 열의 상단 컨테이너를 j 열로 이동한다면 그 이동으로 발생하게 되는 컨테이너들의 전체 적재 가능 개수의 증가분이며 $S_{ij} = c_i^2 - c_j^1$ 을 의미한다.

제2절 예상 선처리 휴리스틱

본 휴리스틱은 컨테이너를 장치장에 반입할 때, 향후 재취급이 발생할 것 같은 상황이 발생하면 재취급 예방차원에서 선처리를 하는 휴리스틱이다. (Anticipatory Preprocess Heuristics, 이하 AP 휴리스틱) 재취급이 발생할 것 같은 상황을 예를 들면, 빈 베이 내에 컨테이너 반입을 시작하면 빈 스택의 수는 줄어들게 될 것이고 빈 스택이 완전히 없어지는 시점이 오게 된다. 그 후에 기존의 컨테이너들보다 가벼운 컨테이너가 반입되면 그 컨테이너가 적하를 위한 반출 시에 재취급을 유발하게 될 것이다. 이 휴리스틱에서 고려하는 재취급이 발생할 것 같은 상황은 아래 조건1에 명시되어 있으며, 조건 1과 조건 2의 두 조건이 맞을 경우 이미 장치된 컨테이너를 선처리하게 된다.

조건 1. 빈 스택이 없어 질 때와 재취급이 발생할 수 있는 이동이
있을 후. 이를 식으로 표현하면, 이동 후 $n_0=0$ 이 되거나
 $w_0 < \min_{i=1}^S \{w_i^1\}$ 의 조건이 만족하거나

조건 2. 스택 상단의 컨테이너 무게의 합이 감소하는 이동이 가능
할 때, 즉 $D_{ij} < 0$ 의 조건을 만족하는 이동이 가능할 때

조건 1은 선처리의 시기를 나타내는 조건으로 빈 스택이 없어 진 후나 재취급이 발생할 수 있는 이동이 있을 후라야 선처리가 의미가 있기 때문이며, 조건 2는 선처리의 이동 가능 조건을 나타내는 것으로 스택 상단의 무게 합을 낮추는 이동이 가능해야 실행할 수 있기 때문이다. 선처리는 위의 조건 1이 발생하는 시기에 조건 2가 만족되는 이동이 있을 경우 실행하게 되는 것이다. 조건 2를 만족하는 이동이 여럿이 있을 경우 상단 컨테

이너들의 무게 합의 차이가 최소가 되는 이동을 실행하는 것이다. 즉 다음의 열 선택 조건에 해당하는 하나의 컨테이너를 i 열에서 j 열로 이동하는 것이다.

$$\text{열 선택 조건 : } \min_{i=1, j=1}^S \{D_{ij}\}$$

본 논문에서 실험결과로 제시하지는 않았으나 하나 이상의 컨테이너 이동으로 선처리를 하여야 할 경우 선처리의 횟수가 증가하는 것에 대한 재취급 감소효과가 적은 것으로 실험결과가 나왔으므로 선처리는 1회의 컨테이너 이동으로 제한하였다.

이 휴리스틱을 단계별로 나타내면 다음과 같다. 시작하기 전에 각 스택 별로 그 스택에 장치된 최고 무게를 정보로 보관하고 있어야 한다. 빈 스택의 경우 최고 무게 정보는 0이며, 시작하기 전 모든 스택의 최고 무게 정보는 0이 된다. 먼저 1단계는 컨테이너가 게이트를 통과하여 장치장에 반입되는 순간 시행되며 이 단계에서 최적의 적재 위치를 선택하게 된다. 각 스택에 적재된 최고 무게들 중 적재할 컨테이너의 무게보다 가벼운 스택이 하나 이상 있으면 선별한 후 선별된 스택들 중 가장 무게가 무거운 스택을 선택한다. 만약 해당 스택이 없으면 3단계로 건너가고, 해당 스택이 없으면 2단계를 수행한다.

2단계에서는 차선의 적재 위치를 선택하게 되는데 각 스택에 적재된 최고 무게 중 가장 가벼운 무게의 스택을 선택한다. 3단계에서는 1단계나 2단계에서 선택한 스택에 컨테이너를 적재한다. 선택된 컨테이너의 최고 무게 값을 지금 적재한 컨테이너와 비교하여 무거운 값으로 변경한 후 4단계로 넘어가서 선처리 조건을 검사한다.

선처리 조건은 위에서 언급하였으며 조건이 맞는 열이 없을 경우 6단계

로 건너가고 조건이 맞는 열이 있을 경우 5단계로 가서 선처리를 실행한다. 선처리를 실행할 수 있는 열이 여러 개 있을 경우 열 선택 조건에 맞는 열로 선처리를 실행한다. 6단계에서는 종료 조건을 검사하는 단계인데 컨테이너가 순차적으로 반입되다가 모든 컨테이너의 반입이 완료되면 휴리스틱이 종료되는 것으로 표현하였다. 이 단계에 해당되는 순서도는 <순서도 1> 과 같다.

[1 단계] 최적 적재할 컨테이너의 스택 위치 탐색

- 각 스택에 적재된 최고 무게들 중 적재할 컨테이너의 무게보다 가벼운 스택들 선별, ($w_0 > m_i$ 에 해당하는 모든 스택 i 들을 선별)
- 선별된 스택들 중 가장 무거운 스택을 선택
- 해당 스택이 있으면 3단계로 이동, 없으면 2단계로 이동

[2 단계] 차선으로 적재할 컨테이너의 스택 위치 결정

- 각 스택에 적재된 최고무게 중 가장 가벼운 무게의 스택 선택, ($\min_{i=1}^S \{m_i\}$ 인 스택 i 를 선택)

[3 단계] 적재

- 1 단계 또는 2 단계에서 선택된 스택에 해당 컨테이너 적재

[4 단계] 선처리 실행 여부를 점검

- 위의 두 조건(조건 1, 조건 2)이 맞는지 점검, (이동 후 $n_0 = 0$ 이 되거나 $w_0 < \min_{i=1}^S \{w_i^1\}$ 의 조건 성립시, $D_{ij} < 0$ 인 이동이 가능

할 시)

- 맞으면 5 단계로 이동, 맞지 않으면 6 단계로 이동

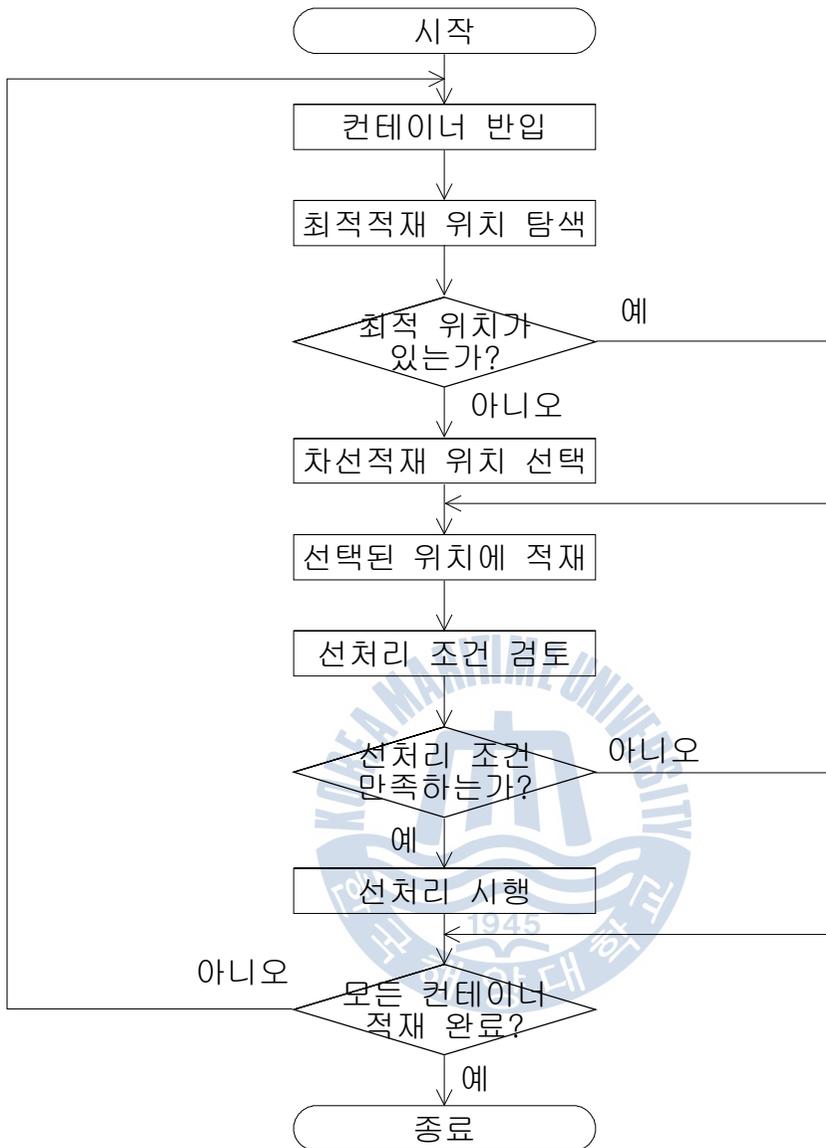
[5 단계] 선처리 실행

- 위의 조건을 만족하는 열이 여러 개일 경우 열 선택 조건에 해당하는 열 선택, ($\min_{i=1, j=1}^S \{D_{ij}\}$ 인 열 i 와 j 를 선택)
- 선처리 실행 (열 i 상단의 컨테이너를 열 j 로 이동)

[6 단계] 종료 조건 점검 후 종료 또는 1 단계 실행

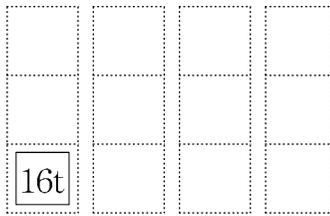
- 모든 컨테이너 적재 시 종료, 아니면 1단계에서 반복 실행 적재할 컨테이너의 스택 위치 선택



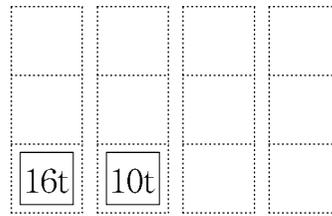


<순서도 1> AP 휴리스틱의 순서도

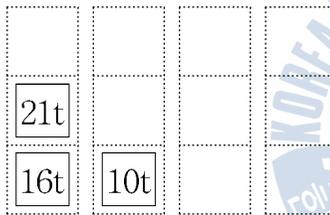
<그림 3-3>은 <그림 3-1>의 순서대로 컨테이너가 반입될 경우 AP 휴리스틱으로 장치하는 과정을 보여주고 있다. 아래의 6)에서 사선으로 표현한 10t의 컨테이너를 선처리하는데 2열에서 3열로 이동하게 된다. 점선으로 표현한 사각형은 선처리 실시 전에 컨테이너가 있었던 위치를 나타낸다. 11)에서도 같은 형식으로 선처리를 나타내었다.



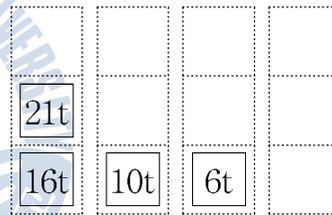
1) 16t장치 - 1열



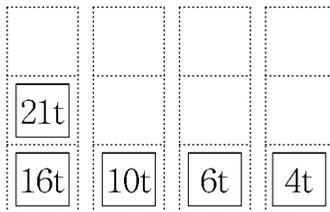
2) 10t장치 - 2열



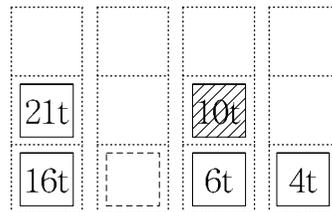
3) 21t장치 - 1열



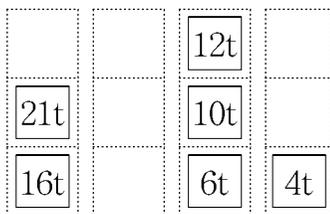
4) 6t장치 - 3열



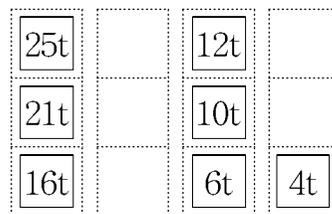
5) 4t장치 - 4열



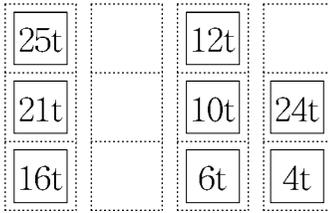
6) 선처리 (2열->3열)



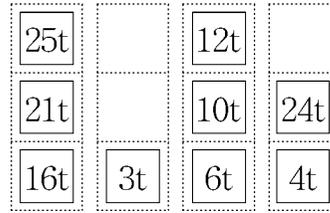
7) 12t장치 - 3열



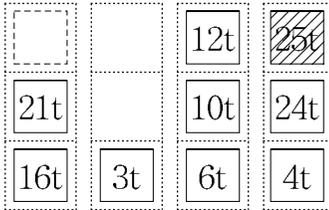
8) 25t장치 - 1열



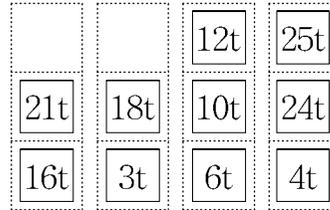
9) 24t장치 - 4열



10) 3t장치 - 2열



11) 선처리(1열->4열)



12) 12단계 - 18t장치

<그림 3-3> AP 휴리스틱의 적재 과정

1단계에서 5단계까지는 MDF 휴리스틱과 동일한 과정을 거친다. 5단계에서 4t의 컨테이너를 장치하면 빈 스택이 없어지게 된다. 위의 첫째 조건이 발생한 것이다. 2열의 10t를 3열로 옮기는 경우와 2열의 10t를 4열로 옮기는 경우가 가능하므로 두 번째 조건도 만족한다. $\min_{i=1, j=1}^S \{D_{ij}\}$ 을 구하기 위하여 각 이동에 대한 D_{ij} 을 계산한다. 먼저 2열에서 3열로 이동하는 경우는 $D_{23} = 0t - 6t$ 로 $-6t$ 이 되고 2열에서 4열로 이동하는 경우는 $D_{24} = 0t - 4t$ 로 $-4t$ 가 된다. 그래서 두 값 중 최솟값인 D_{23} 에 해당하는 이동이 발생한다. 10단계에서 3t를 장치한 후에도 선처리 발생을 위한 두 가지 조건이 모두 만족하여 선처리가 발생하게 된다. 이 이후 단계에서는 선처리가 발생하지 않으며 이 예에서 선처리를 위한 이동이 2회가 발생하였고, 반출 시에는 재취급이 발생하지 않았다. 재취급 방지를 위하여 미리 선처리를 하기 때문에 위의 11단계처럼 불필요한 선처리가 발생할 수도

있으나, 반출 시의 재취급은 줄어들는 특징이 있다.

이 예에서 장치장에서 반출하는 과정은 앞의 예와 동일하게 무거운 무게의 컨테이너를 먼저 반출하게 된다. 반출하게 되는 순서는 25t, 24t, 21t, 18t, 16t, 12t, 10t, 6t, 4t, 3t의 순으로 반출하게 되며 각 컨테이너가 반출될 때 자신의 무게보다 무거운 컨테이너가 위에 놓이는 경우가 없으므로 재취급은 전혀 발생하지 않는다.

본 예에서는 선처리 이동 2회, 재취급 이동 0회로 전체 이동 횟수는 2회가 된다. 이동횟수는 2회로 MDF보다 많아 효과가 낮다고 볼 수 있으나, 재취급이 발생하지 않는다는 점을 주목할 만하다.



제3절 요구 선처리 휴리스틱

컨테이너(A라 하자)를 반입할 때 기존의 어느 스택에 장치를 하더라도 적하를 위한 반출 시에 재취급이 일어나게 될 때가 있다. 그때에는 이미 장치되어 있는 컨테이너를 먼저 이동한 후 컨테이너 A를 장치함으로써 재취급이 발생하지 않도록 장치할 수 있다면 이동을(선처리를) 먼저 한 후 그 컨테이너 A를 장치하는 것이 효과적일 것이다. 요구 선처리 휴리스틱(Demand Preprocess Heuristics, 이하 DP 휴리스틱)은 MDF 방법으로 컨테이너를 장치해 나가다가 어디에 장치하더라도 재취급이 발생하는 시점이 발생할 때, 즉 모든 스택의 최상위 컨테이너보다 가벼운 컨테이너를 장치해야 할 때, 그 컨테이너를 장치할 위치를 확보하기 위하여 선처리를 실행하는 방안이다. 이 휴리스틱도 AP 휴리스틱과 동일한 이유로 1회 이상의 이동으로 선처리를 하여야 할 경우, 선처리를 하지 않고 재취급이 최소가 되는 위치에 장치를 하게 된다. 이 휴리스틱 알고리즘에서 선처리를 시행하는 시기는 다음 조건이 만족할 때이다.

- 조건 1. 지금 장치할 컨테이너가 재취급을 유발할 때, 즉 $w_0 < \min_{i=1}^S \{w_i^1\}$ 의 조건을 만족할 때
- 조건 2. 한 번의 이동으로 지금 장치할 컨테이너를 적재할 위치가 생길 때, 즉 이동하기 전에 $w_i^1 > w_0 > w_i^2$ 이면서 $w_i^1 > w_j^1$ 인 i 열과 j 열이 있을 때

조건 1은 선처리의 시기를 나타내는 조건으로 지금 장치하고자 하는 컨테이너가 기존에 장치된 스택의 최상단의 컨테이너들 중 가장 가벼운 컨테이너보다 더 가벼운 컨테이너를 장치하게 되는 시기를 나타내고 조건 2

는 선처리의 실행 여부 조건을 나타내는 것으로 선처리를 함으로써 지금 장치할 컨테이너가 재취급이 발생하지 않는 위치에 장치할 수 있는가를 의미한다. 선처리는 위의 두 조건이 만족하는 i 열에서 j 열로의 이동이 여럿이 있을 경우, 이들 중에서 $w_j^1 - w_0$ 의 값이 최대가 되는 이동을 선택한다. 즉 다음 열 선택 조건 값에 해당하는 i 열에서 j 열로의 이동을 선택한다.

$$\text{열 선택 조건 : } \max_{j=1}^S \{w_j^1 - w_0\}$$

위의 선처리에 의한 이동으로 재취급이 발생하지 않는 위치를 확보한 후 장치하고자 하는 컨테이너를 i 열에 장치한다.

이 휴리스틱을 단계별로 나타내면 다음과 같다. 시작하기 전에 각 스택 별로 그 스택에 장치된 최고 무게를 정보로 보관하고 있어야 한다. 빈 스택의 경우 최고 무게 정보는 0이며, 시작하기 전 모든 스택의 최고 무게 정보는 0이 된다. 먼저 컨테이너가 게이트를 통과하여 장치장에 반입되는 순간 1단계가 시행되는데 최적의 적재 위치를 선택하는 과정이다. 각 스택에 적재된 최고 무게들 중 적재할 컨테이너의 무게보다 가벼운 스택이 하나 이상 있으면 선별한 후 선별된 스택들 중 가장 무게가 무거운 스택을 선택한다.

만약 해당 스택이 있으면 5단계로 건너가고, 해당 스택이 없으면 다음 단계인 2단계를 수행한다. 2단계에서는 선처리 조건을 검사한다. 선처리 조건은 위에서 언급하였으며 조건이 맞는 열이 없을 경우 4단계로 건너가고 조건이 맞는 열이 있을 경우 3단계로 가서 선처리를 실행한다.

3단계에서 선처리를 실행할 때 선처리를 실행할 수 있는 열이 여러 개 있을 경우 열 선택 조건에 맞는 열로 선처리를 실행한 후 5단계로 건너간

다. 4단계에서는 각 스택에 적재된 최고 무게 중 가장 가벼운 무게의 스택을 선택함으로써 차선의 스택을 선택하게 된다. 선택한 후 5단계로 건너간다. 5단계에서는 1단계나 4단계에서 선택한 스택에 컨테이너를 적재한다. 선택된 컨테이너의 최고 무게 값을 지금 적재한 컨테이너의 최고 무게와 비교하여 무거운 값으로 변경한 후 6단계로 넘어간다. 6단계에서는 종료 조건을 검사하는 단계인데 컨테이너가 순차적으로 반입되다가 모든 컨테이너의 반입이 완료되면 휴리스틱이 종료되는 것으로 표현하였다. 이 단계별 흐름은 <순서도 2>로 나타내었다.

[1 단계] 최적 적재할 컨테이너의 스택 위치 결정

- 각 스택에 적재된 최고 무게들 중 적재할 컨테이너의 무게보다 가벼운 스택들 선별, ($w_0 > m_i$ 에 해당하는 모든 스택 i 들을 선택)
- 선별된 스택들 중 가장 무거운 스택을 선택
- 해당 스택이 있으면 5단계로 이동, 없으면 2단계로 이동

[2 단계] 선처리 실행 여부를 점검

- 위의 두 조건(조건 1, 조건 2)이 맞는지 점검, ($w_0 < \min_{i=1}^S \{w_i^1\}$ 의 조건을 만족할 시, $w_i^1 > w_0 > w_i^2$ 이면서 $w_i^1 > w_j^1$ 인 열 i 와 열 j 가 있을 때)
- 맞으면 3 단계로 이동, 맞지 않으면 4 단계로 이동

[3 단계] 선처리 실행

- 열 j 에 해당하는 여러 개의 열이 있을 경우 위의 열 선택 조건에 해당하는 열 선택, ($\max_{j=1}^S \{w_j^1 - w_0\}$ 인 열 i 와 열 j 를 선택)

- 선처리 실행, (열 i 상단의 컨테이너를 열 j 로 이동)
- 5단계로 이동

[4 단계] 차선으로 적재할 컨테이너의 스택 위치 결정

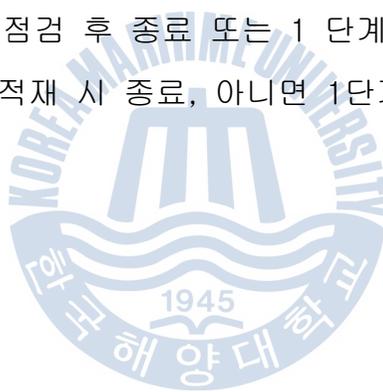
- 각 스택에 적재된 최고 무게 중 가장 가벼운 무게의 스택을 선택, ($\min_{i=1}^S \{m_{ij}\}$ 인 스택 i 를 선택)

[5 단계] 적재

- 1 단계 또는 4 단계에서 선택된 스택에 해당 컨테이너 적재

[6 단계] 종료 조건 점검 후 종료 또는 1 단계 실행

- 모든 컨테이너 적재 시 종료, 아니면 1단계에서 반복 실행





<순서도 2> DP 휴리스틱의 순서도

<그림 3-4>는 <그림 3-1>의 순서대로 컨테이너가 반입될 경우 DP 휴리스틱으로 장치하는 과정을 보여주고 있다.

16t			

1) 16t장치 - 1열

16t	10t		

2) 10t장치 - 2열

21t			
16t	10t		

3) 21t장치 - 1열

21t			
16t	10t	6t	

4) 6t장치 - 3열

21t			
16t	10t	6t	4t

5) 4t장치 - 4열

21t	12t		
16t	10t	6t	4t

6) 12t장치 - 2열

25t			
21t	12t		
16t	10t	6t	4t

7) 25t장치 - 1열

25t	24t		
21t	12t		
16t	10t	6t	4t

8) 24t장치 - 2열

25t	24t		
21t	12t		6t
16t	10t		4t

9) 선처리 (3열->4열)

25t	24t		
21t	12t		6t
16t	10t	3t	4t

10) 3t장치 - 3열

25t	24t		18t
21t	12t		6t
16t	10t	3t	4t

11) 18t장치 - 4열

<그림 3-4> DP 휴리스틱의 적재 과정

1단계에서 8단계까지는 MDF휴리스틱과 동일한 과정을 거친다. 그 후 3t의 컨테이너를 장치하기 전에 선처리가 발생하는 조건을 만족하게 된다. 3t의 무게가 모든 스택의 상위 컨테이너 무게보다 가벼우므로 위의 조건 1을 만족하게 된다. 그리고 조건 2를 보면 i 가 3열이고 j 가 4열에 해당하는 이동의 경우 3열에서 보면 $6t > 3t > 0t$ 이므로 $w_i^1 > w_0 > w_i^2$ 을 만족하게 되고 3열과 4열의 비교에 해당하는 $6t > 4t$ 의 조건도 만족하므로 $w_i^1 > w_j^1$ 도 만족한다. 그래서 선처리가 발생하게 되는데 이 조건을 만족하는 다른 경우는 없으므로 선처리로 $w_j^1 - w_0$ 의 최솟값인 $\max_{j=1}^S \{w_j^1 - w_0\}$ 에 해당하는 이동이 9단계에서 발생한다. 그런 이동 후에 10단계에서 3열에 3t를 장치한다. 이후에는 선처리 발생 조건 1에 해당하는 경우가 발생하지 않으므로 선처리가 실행되지 않는다. 이 예에서는 선처리로 인하여 반출 시에는 재취급이 발생하지 않게 된다. 즉, 앞의 예처럼 반출하는 과정은 무거운 무게의 컨테이너를 먼저 반출하게 되므로 역시 25t, 24t, 21t, 18t, 16t, 12t, 10t, 6t, 4t, 3t의 순으로 반출하게 되며 재취급은 발생하지 않는다.

결국 이동의 횟수를 보면 선처리 이동 1회, 재취급 이동 0회로 전체 이동 횟수는 1회가 된다. MDF 휴리스틱의 경우와 같은 1회이지만 재취급이 아닌 선처리에서 발생하는 이동이므로 효과가 MDF 휴리스틱보다 높다고 생각한다.

제4절 확장 예상 선처리 휴리스틱

본 휴리스틱은 예상 선처리 휴리스틱과 유사하게 컨테이너를 장치장에 반입할 때, 향후 재취급이 발생할 것 같은 상황이 발생하면 재취급 예방차원에서 선처리를 하는 휴리스틱이다. 본 휴리스틱은 컨테이너들의 반입을 시작하기 전에 모든 컨테이너들의 무게를 알고 있을 때 적용하는 방안으로써, 반입을 시행하기 전에 모든 컨테이너의 반입 순서를 무게가 아닌 반출 순서를 기준으로 바꾼 후 적용하는 방안이다. 예상 선처리 휴리스틱과 비교해 보면 선처리의 시기를 나타내는 조건은 동일하나, 선처리의 이동 가능 조건은 컨테이너의 무게에서 컨테이너의 반출순서로 바뀌게 된다. 그리고 선처리를 실행할 때 선택할 수 있는 이동이 여러 개 있을 때 적용하는 열 선택 조건도 무게를 기준으로 하지 않고 적재 가능한 컨테이너들의 개수를 기준으로 하게 된다. 이 휴리스틱을 확장 AP 휴리스틱이라 하고, 컨테이너 선처리는 아래 두 조건이 맞을 경우 실시하게 된다.

- 조건 1. 빈 스택이 없어 질 때와 재취급이 발생할 수 있는 이동이 있을 후, 이를 식으로 표현하면, 이동 후 $n_0 = 0$ 이 되거나 $ws_0 < \min_{i=1}^S \{ws_i^1\}$ 의 조건이 만족하거나
- 조건 2. 스택 상단의 이동으로 전체 적재 가능 개수가 늘어날 때, 즉 $S_{ij} > 0$ 의 조건을 만족하는 이동이 가능할 때

조건 1은 선처리의 시기를 나타내는 조건으로 빈 스택이 없어 진 후나 재취급이 발생할 수 있는 이동이 있을 후라야 선처리가 의미가 있기 때문이며, 조건 2는 선처리의 이동 가능 조건을 나타내는 것으로 그 이동으로 스택에 저장될 컨테이너가 향후 반입될 가능성이 있어야 이동이 의미가

있기 때문이다. 선처리는 위의 조건 1이 발생하는 시기에 조건 2가 만족되는 이동이 있을 경우 실행하게 되는 것이다. 조건 2를 만족하는 이동이 여럿이 있을 경우 컨테이너들의 저장 가능한 컨테이너의 수가 최대가 되는 이동을 선택하게 된다. 즉 다음의 열 선택 조건에 해당하는 하나의 컨테이너를 i 열에서 j 열로 이동하게 된다.

$$\text{열 선택 조건 : } \max_{i=1, j=1}^{S, S} \{S_{ij}\}$$

이 조건은 컨테이너를 한 열(i)에서 다른 열(j)로 이동을 할 경우 그 이동으로 적재 가능한 컨테이너의 수가 늘어나는 이동들 중, 적재 가능한 컨테이너의 수가 최대가 되는 이동을 찾는 조건이 된다.

다른 휴리스틱들과 같이 2회 이상의 컨테이너 이동으로 선처리를 하여야 할 경우 선처리의 횟수가 증가하는 것에 대한 재취급 감소효과가 적은 것으로 실험결과가 나왔으므로 선처리는 1회의 컨테이너 이동으로 제한하였다.

이 휴리스틱을 단계별로 나타내면 다음과 같다. 시작하기 전에 각 스택별로 그 스택에 장치된 최고 무게 순서를 정보로 보관하고 있어야 한다. 빈 스택의 경우 최고 무게 순서 정보는 0이며, 시작하기 전 모든 스택의 최고 무게 순서 정보는 0이 된다. 먼저 0단계는 준비단계로 컨테이너의 무게를 무게의 순서로 변경을 하는데 가장 가벼운 컨테이너는 1로 그보다 무거운 컨테이너들은 무게 순서대로 1씩 증가하는 값으로 바꾼다. 컨테이너가 게이트를 통과하여 장치장에 반입되는 순간 1단계가 시행되는데 최적의 적재 위치를 선택하는 과정이다. 각 스택에 적재된 최고 무게순서들 중 적재할 컨테이너의 무게순서보다 가벼운 스택이 하나 이상 있으면 선별한 후 선별된 스택들 중 가장 무게 순서가 큰 스택을 선택한다. 만약 해당 스택이 있으면 3단계로 건너가고, 해당 스택이 없으면 2단계를 수행한

다. 2단계에서는 차선의 적재 위치를 선택하게 되는데 각 스택에 적재된 최고 무게순서 중 가장 가벼운 무게순서의 스택을 선택한다. 3단계에서는 1단계나 2단계에서 선택한 스택에 컨테이너를 적재한다.

선택된 컨테이너의 최고 무게 순서 값을 지금 적재한 컨테이너와 비교하여 무거운 값으로 변경한 후 4단계로 넘어가서 선처리 조건을 검사한다. 선처리 조건은 위에서 언급하였으며 조건이 맞지 않을 경우 6단계로 건너가고 조건이 맞을 경우 5단계로 가서 선처리를 실행한다. 선처리를 실행할 수 있는 열이 여러 개 있을 경우 열 선택 조건에 맞는 열로 선처리를 실행한다. 6단계에서는 종료 조건을 검사하는 단계인데 컨테이너가 순차적으로 반입되다가 모든 컨테이너의 반입이 완료되면 휴리스틱이 종료되는 것으로 표현하였다. 본 휴리스틱의 순서도는 <순서도 3>에 나타내었다.

[0 단계] 컨테이너 무게를 무게의 크기 순서로 변경

- 무게가 가벼울수록 작은 값으로 가장 가벼운 컨테이너는 1이 됨

[1 단계] 최적 적재할 컨테이너의 스택 위치 결정

- 각 스택에 적재된 최고 무게순서들 중 적재할 컨테이너의 무게순서보다 가벼운 스택들 선별, ($ws_0 > ms_i$ 에 해당하는 모든 스택 i 들을 선별)
- 선별된 스택들 중 가장 순서가 큰 스택을 선택
- 해당 스택이 있으면 3단계로 이동, 없으면 2단계로 이동

[2 단계] 차선으로 적재할 컨테이너의 스택 위치 결정

- 각 스택에 적재된 최고 무게순서 중 가장 가벼운 무게순서의 스택을 선택, ($\min_{i=1}^S \{m_i\}$ 인 스택 i 를 선택)

[3 단계] 적재

- 1 단계 또는 2 단계에서 선택된 스택에 해당 컨테이너 적재

[4 단계] 선처리 실행 여부를 점검

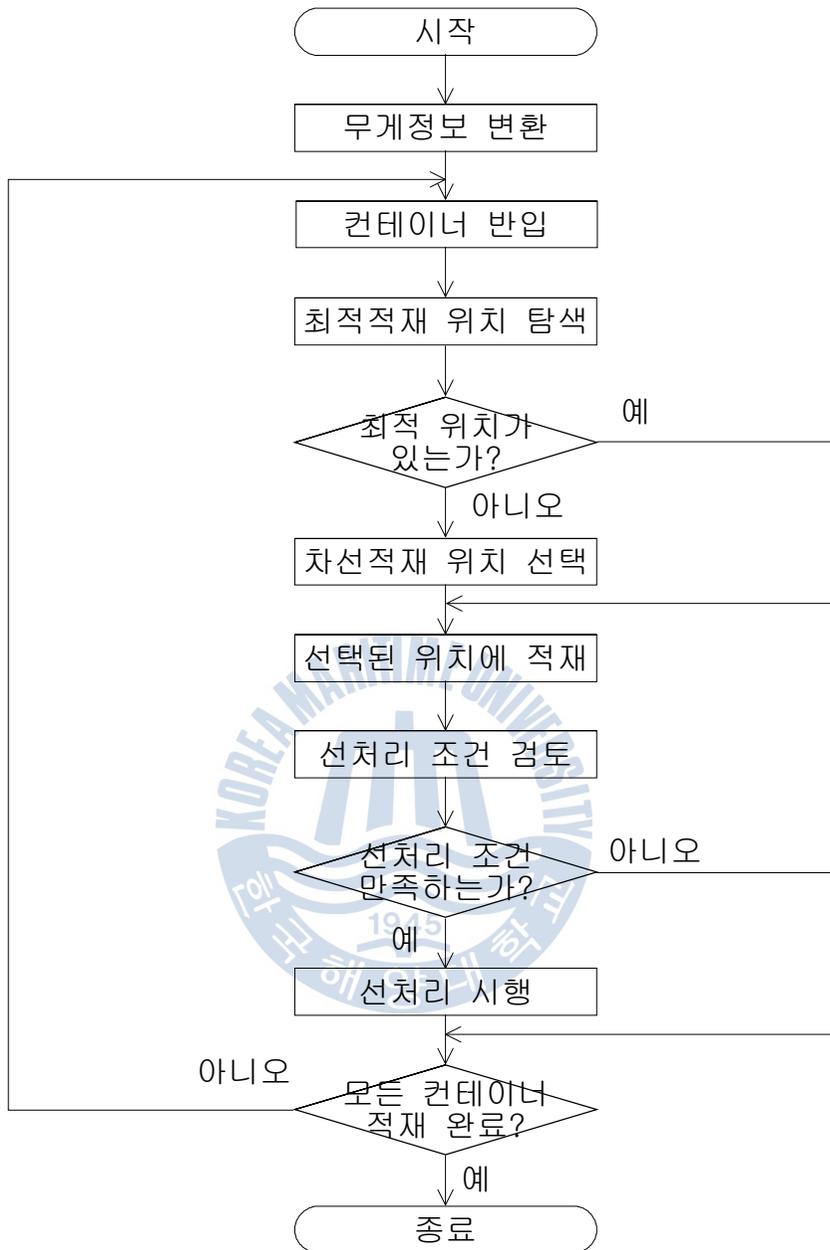
- 위의 두 조건(조건 1, 조건 2)이 맞는지 점검, (이동 후 $n_0 = 0$ 이 되거나 $ws_0 < \min_{i=1}^S \{ws_i^1\}$ 의 조건 성립 시, $S_{ij} > 0$ 인 이동이 가능할 시)
- 맞으면 5 단계로 이동, 맞지 않으면 6 단계로 이동

[5 단계] 선처리 실행

- 위의 열 선택 조건에 해당하는 열 선택, ($\max_{i=1, j=1}^S \{S_{ij}\}$ 인 열 i 와 j 를 선택)
- 선처리 실행

[6 단계] 종료 조건 점검 후 종료 또는 1 단계 실행

- 모든 컨테이너 적재 시 종료



<순서도 3> 확장 AP 휴리스틱의 순서도

<그림 3-6>은 <그림 3-5>의 순서대로 컨테이너가 반입될 경우 본 휴리스틱으로 장치하는 과정을 보여주고 있다.

이 휴리스틱은 앞의 두 휴리스틱과 달리 반입되는 컨테이너의 순서를 정할 때 무게가 아닌 무게순서를 기준으로 정하게 되므로 이를 위하여 반입과정을 시행하기 전에 반입될 모든 컨테이너의 정보를 무게에서 무게순서로 바꾸게 되며 아래의 <그림 3-5>가 <그림 3-1>의 컨테이너 반입순서를 무게가 아닌 무게순서로 변경한 후의 모습을 보여 주고 있다.

16t 10t 21t 6t 4t 12t 25t 24t 3t 18t

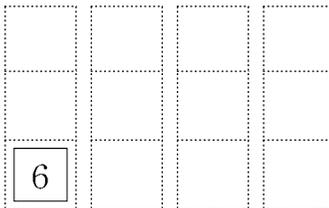
무게로 표현한 컨테이너 반입순서

<그림 3-1> 컨테이너 반입순서

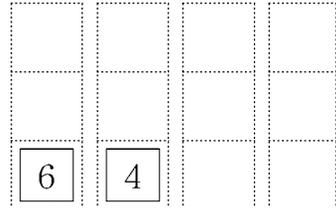
6 4 8 3 2 5 10 9 1 7

무게의 순서로 표현한 컨테이너 반입순서

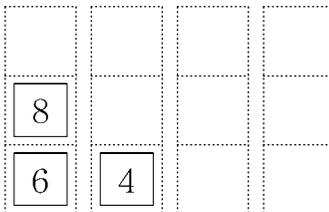
<그림 3-5> 컨테이너 반입순서 - 무게의 순서



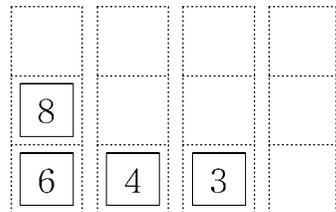
1) 6 장치 - 1열



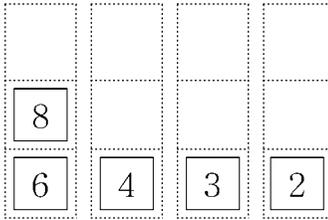
2) 4 장치 - 2열



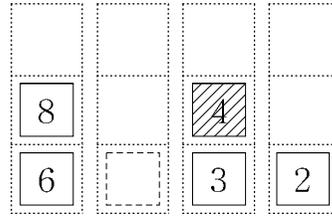
3) 8 장치 - 1열



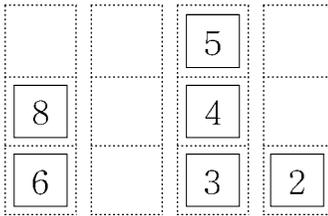
4) 3 장치 - 3열



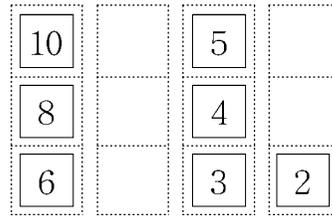
5) 2 장치 - 4열



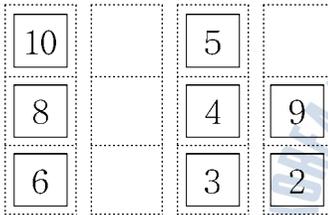
6) 선처리 (2열->3열)



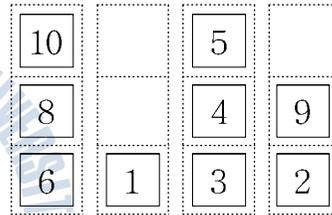
7) 5 장치 - 3열



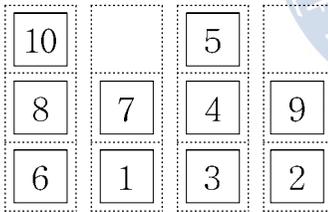
8) 10 장치 - 1열



9) 9 장치 - 4열



10) 1 장치 - 2열



11) 7 장치 - 2열

<그림 3-6> 확장 AP 휴리스틱의 적재 과정

1단계에서 5단계까지는 MDF휴리스틱과 동일한 과정을 거친다. 5단계에서 4t(무게순서 2)의 컨테이너를 장치하면 빈 스택이 없어지게 된다. 위의 첫째 조건이 발생한 것이다. 두 번째 조건도 만족하는지 확인하기 위하여 $S_{ij} > 0$ 을 만족하는 이동이 있는지 확인 한 결과 2열의 10t(무게순서 4)

를 3열로 옮기는 경우와 2열의 10t를 4열로 옮기는 경우가 해당된다는 것을 확인할 수 있다. 이동의 경우가 두 가지 이므로 $\max_{i=1, j=1}^S \{S_{ij}\}$ 을 구하여 이동을 선택한다. 그러기 위하여 각 이동에 대한 $S_{ij} = c_i^2 - c_j^1$ 을 계산한다. 먼저 2열에서 3열로 이동하는 경우는 $S_{23} = c_2^2 - c_3^1$ 을 구하면, c_2^2 는 2열의 위에서 2번째 컨테이너가 없으므로 그 위에 적재할 수 있는 컨테이너의 수는 남아있는 모든 컨테이너수가 되므로 5가 된다(1부터 10까지의 컨테이너 중 5개가 적재되고 5개가 남아 있으므로). c_3^1 은 3열의 1번째 컨테이너의 무게순서가 3이므로 3위에 적재 가능한 남아 있는 컨테이너 수는 4가 된다(남아있는 5개 컨테이너 1, 5, 7, 8, 10 중 3보다 무거운 것은 4개 이므로). 그래서 $S_{23} = 5 - 4$ 로 1이 되고 2열에서 4열로 이동하는 경우도 같은 방식으로 $S_{24} = 5 - 4$ 로 1이 된다. 그래서 두 가지 이동 모두 효과는 같다. 여기서 2열에서 3열로의 이동을 선택했다. 10단계에서 3t를 장치한 후에는 선처리 발생을 위한 첫째 조건이 만족하지만 두 번째 조건은 만족하지 않는다. 즉, 1열에서 4열로 이동이 가능하지만 그 경우의 S_{14} 값을 구해보면 $S_{14} = 0 - 0$ 으로 0이 되어 이동으로 인한 효과가 없다는 것을 알 수 있다. 즉 두 번째 조건인 $S_{ij} > 0$ 이 성립하지 않는다. 이 경우가 컨테이너 정보를 알고 있으므로 해서 불필요한 이동을 막는 예가 되며 AP 휴리스틱에 비하여 장점으로 작용하게 된다. 반출하는 과정을 보면 앞의 예와 동일하게 무거운 무게의 컨테이너를 먼저 반출하게 되므로 재취급은 전혀 발생하지 않는다. 결국 <그림 3-6>의 예에서는 선처리 이동 1회, 재취급 이동 0회로 전체 이동 횟수는 1회가 된다.

제5절 알고리즘의 대상 확장

앞 절까지의 알고리즘은 적용하는 대상이 1절에서 언급한 것처럼 동일한 목적 항을 가진 베이로 제한될 뿐 아니라 하나의 베이에 대하여 적용하는 방안이다. 이 절에서는 적용하는 대상을 동일한 목적 항을 가진 베이인 것은 같으나 적용하는 베이의 수를 하나의 베이에서 여러 베이로 확장할 때 고려할 사항들을 언급하고자 한다.

수출 컨테이너의 경우 동일 선박, 동일한 목적 항에 수출하는 컨테이너의 수가 하나의 베이의 수용량을 넘어설 경우 할당하는 베이는 복수개가 될 것이므로 그때의 경우에 적용할 경우 기존의 알고리즘에 대하여 고려해야 할 부분과 변경 혹은 추가할 부분들에 대하여 시뮬레이션을 통한 실험 없이 언급만 하고자 한다.

1. 고려할 사항

베이가 복수개가 되므로 인하여 고려해야 할 부분을 언급해보자. 먼저 외부트럭에서 장치장으로 적재할 때 적재할 수 있는 베이와 스택의 선택의 폭이 늘어날 것이라는 것이다. 이는 적재할 대상이 되는 베이가 하나만이었다가 여러 개의 베이로 늘어날 것이므로 당연하다고 볼 수 있다. 두 번째 수출 컨테이너의 수가 하나의 베이의 수용량을 넘어서서 증가할 때 스택을 할당하는 방식도 고려사항이 될 수 있다. 컨테이너가 늘어날 때 할당하는 것은 다음 세 가지 방법이 있을 것이다.

① 하나의 스택단위로 할당 :

컨테이너의 양이 베이의 수용량보다 하나 넘어서면 하나의 스택을 추가로 할당하고, 컨테이너의 증가량이 추가로 할당된 스택을 넘어서면 또 하나의 스택을 할당하는 방식

② 베이의 반을 단위로 할당 :

컨테이너의 양이 베이의 수용 량보다 하나 넘어서면 베이의 반을 할당하고, 컨테이너의 증가량이 추가로 할당된 반의 베이를 또 넘어서면 나머지 반의 베이를 할당하는 방식

③ 하나의 베이 전체를 단위로 할당 :

컨테이너의 양이 베이의 수용 량보다 하나 넘어서면 하나의 베이를 추가로 할당하고, 컨테이너의 증가량이 추가로 할당된 그 베이를 넘어서면 또 하나의 베이를 할당하는 방식

세 번째는 선처리를 수행할 때 컨테이너를 이동하는 범위가 하나의 베이내에서 반의 이동에서 여러 베이들 간의 이동으로 증가할 수 있게 될 것이라는 점이다. 베이들 간의 이동은 다시 같은 블록내의 이동과 다른 블록간의 이동으로 나눌 수 있다.

① 동일한 블록, 동일한 베이내 이동 :

컨테이너의 이동은 기존의 알고리즘의 이동과 동일

② 동일한 블록, 다른 베이간 이동 :

컨테이너의 이동은 기존의 알고리즘보다 다소 시간이 더 걸리나 TC의 동작은 동일

③ 다른 블록, 다른 베이간 이동 :

컨테이너의 이동은 기존의 알고리즘과 다른 두 대의 TC의 동작과 내부 트럭의 이동이 필요

생산성을 보면 다른 블록의 이동은 동일한 블록의 이동보다 떨어지는 것은 당연하다. 이는 동일한 블록의 이동은 하나의 TC의 세 가지 동작(컨테이너를 들기, 컨테이너 이동, 컨테이너 놓기)만으로 이루어지는데 비하여 블록간의 이동은 위의 세 가지씩의 동작을 두 블록의 TC들이 각각 수행해야하고 또 내부트럭의 블록간 이동이 필요하기 때문이다. 그래서 선처리를 위한 컨테이너의 이동을 다른 블록들 간의 이동은 제외를 하고 동

일한 블록내의 이동만 허용하는 것을 고려해 볼 수 있다.

2. 알고리즘에 변경 혹은 추가할 부분

각 휴리스틱에 대하여 알고리즘의 변경 혹은 추가할 부분은 크게 선처리 조건과 열 선택조건이 될 것이고 이를 기준으로 고려해본다. 아래의 각 휴리스틱에서 언급한 것 이외에는 특별히 변경할 부분은 없으므로 각 단계별 설명이나 순서도는 동일하다고 간주한다.

1) 예상 선처리 휴리스틱

이 휴리스틱에서 선처리 발생조건은 아래의 조건 1과 조건 2의 두 조건이 맞을 경우에 해당된다.

조건 1. 빈 스택이 없어 질 때와 재취급이 발생할 수 있는 이동이 있는 후. 이를 식으로 표현하면, 이동 후 $n_0=0$ 이 되거나 $w_0 < \min_{i=1}^S \{w_i^1\}$ 의 조건이 만족하거나

조건 2. 스택 상단의 컨테이너 무게의 합이 감소하는 이동이 가능할 때, 즉 $D_{ij} < 0$ 의 조건을 만족하는 이동이 가능할 때

조건1에서는 n_0 의 의미가 '한 베이 내에서 현재 비어있는 스택의 수'인데 이 의미가 '대상이 되는 전체 스택 중에서 현재 비어있는 스택의 수'로 바뀌어야한다. 식 $w_0 < \min_{i=1}^S \{w_i^1\}$ 에서 S 의 의미도 '한 베이 내의 스택의 전체 수'에서 '대상이 되는 전체 스택의 수'로 바뀌어야 한다. 조건 2의 경우, 식 $D_{ij} < 0$ 에서 i 와 j 의 범위를 두 가지로 생각해야한다. 즉 컨테이너의 이동을 블록내로 제한할 경우 i 와 j 의 범위를 각 베이내로 제한해서 D_{ij} 의 값을 베이 별로 계산해야 할 것이고, 컨테이너의 이동이 블록 간으로 허용될 경우 i 와 j 의 범위를 대상이 되는 전체 스택으로 확대해서 D_{ij}

의 값을 계산해야 한다.

$$\text{열선택조건} : \min_{i=1, j=1}^S \{D_{ij}\}$$

위의 열선택조건의 경우 역시 컨테이너의 이동이 블록내로 제한될 경우는 열 선택을 위해 식에서의 i 와 j , 그리고 S 의 의미 변경 없이 베이 별로 위의 식을 각각 계산하여 최솟값에 해당하는 i 와 j 를 구하면 될 것이나 블록들간 이동이 허용될 경우에는 S 의 의미도 '한 베이 내의 스택의 전체 수'에서 '대상이 되는 전체 스택의 수'로 바뀌어서 i 와 j 를 대상이 되는 전체 스택을 범위로 변경하여 식의 값이 최소가 되는 i 와 j 를 구해야 한다.

2) 요구 선처리 휴리스틱

이 휴리스틱 역시 선처리 발생조건은 아래의 조건 1과 조건 2의 두 조건이 맞을 경우에 해당된다.

조건 1. 지금 장치할 컨테이너가 재취급을 유발할 때, 즉 $w_0 < \min_{i=1}^S \{w_i^1\}$ 의 조건을 만족할 때

조건 2. 한 번의 이동으로 지금 장치할 컨테이너를 적재할 위치가 생길 때, 즉 이동하기 전에 $w_i^1 > w_0 > w_i^2$ 이면서 $w_i^1 > w_j^1$ 인 i 열과 j 열이 있을 때

조건 1에서 식 $w_0 < \min_{i=1}^S \{w_i^1\}$ 에서 S 의 의미는 AP 휴리스틱과 같이 '한 베이 내의 스택의 전체 수'에서 '대상이 되는 전체 스택의 수'로 바뀌어야 한다. 조건 2는 $w_i^1 > w_0 > w_i^2$ 와 $w_i^1 > w_j^1$ 에서의 i 와 j 의 의미도 AP 휴리스틱과 같이 변경되어야 한다. 즉, 즉 컨테이너의 이동을 블록내로 제한할 경우 i 와 j 의 범위를 각 베이 내로 제한해서 w_i^1, w_0, w_i^2 들과 w_i^1 와 w_j^1 을 비교해야 할 것이고, 컨테이너의 이동이 블록 간으로 허용될 경우 i 와 j 의

범위를 대상이 되는 전체 스택으로 확대해서 위의 값들을 비교해야 한다.

$$\text{열 선택 조건 : } \max_{j=1}^S \{w_j^1 - w_0\}$$

위의 열선택조건의 경우 역시 컨테이너의 이동이 블록내로 제한될 경우는 열 선택을 위해 식에서의 i 와 j , 그리고 S 의 의미 변경 없이 베이 별로 위의 식을 각각 계산하여 최솟값에 해당하는 i 와 j 를 구하면 될 것이나 블록간 이동이 허용될 경우에는 S 의 의미도 '한 베이 내의 스택의 전체 수'에서 '대상이 되는 전체 스택의 수'로 바뀌어서 i 와 j 를 대상이 되는 전체 스택을 범위로 변경하여 식의 값이 최소가 되는 i 와 j 를 구해야 한다. 이 내용도 AP 휴리스틱의 경우와 동일하다.

3) 확장 예상 선처리 휴리스틱

확장 예상 선처리 휴리스틱에서 선처리 발생조건은 아래와 같다.

조건 1. 빈 스택이 없어 질 때와 재취급이 발생할 수 있는 이동이
 있는 후, 이를 식으로 표현하면, 이동 후 $n_0 = 0$ 이 되거나
 $ws_0 < \min_{i=1}^S \{ws_i^1\}$ 의 조건이 만족하거나

조건 2. 스택 상단의 이동으로 전체 적재 가능 개수가 늘어날 때,
 즉 $S_{ij} > 0$ 의 조건을 만족하는 이동이 가능할 때

여기서 조건1에서는 n_0 의 의미가 '한 베이 내에서 현재 비어있는 스택의 수'인데 이 의미가 '대상이 되는 전체 스택 중에서 현재 비어있는 스택의 수'로 바뀌어야 한다. 식 $ws_0 < \min_{i=1}^S \{ws_i^1\}$ 에서 S 의 의미도 '한 베이 내의 스택의 전체 수'에서 '대상이 되는 전체 스택의 수'로 바뀌어야 한다. 조건 2의 경우, 식 $S_{ij} > 0$ 에서 i 와 j 의 범위를 두 가지로 생각해야 한다. 즉 컨테이너의 이동을 블록내로 제한할 경우 i 와 j 의 범위를 각 베이 내로 제한해서 S_{ij} 의 값을 베이 별로 계산해야 할 것이고, 컨테이너의 이동이

블록 간으로 허용될 경우 i 와 j 의 범위를 대상이 되는 전체 스택으로 확대해서 S_{ij} 의 값을 계산해야 한다.

$$\text{열선택조건} : \max_{i=1, j=1}^S \{S_{ij}\}$$

위의 열선택조건의 경우 역시 컨테이너의 이동이 블록내로 제한될 경우는 열 선택을 위해 식에서의 i 와 j , 그리고 S 의 의미 변경 없이 베이 별로 위의 식을 각각 계산하여 최솟값에 해당하는 i 와 j 를 구하면 될 것이나 블록간 이동이 허용될 경우에는 S 의 의미도 '한 베이 내의 스택의 전체 수'에서 '대상이 되는 전체 스택의 수'로 바뀌어서 i 와 j 를 대상이 되는 전체 스택을 범위로 변경하여 식의 값이 최소가 되는 i 와 j 를 구해야 한다.

3. 성능 고려사항

확실한 성능의 상승과 감소 그리고 그 정도는 정확한 시뮬레이션으로 확인 가능하지만 여러 가지 고려사항을 바탕으로 추측해 볼 수 있다. 성능에 영향을 미칠 수 있는 요소는 앞의 '1. 고려할 사항'에서 언급한 세 가지 요소들이다.

먼저 외부트럭에서 장치장으로 적재할 때 적재할 수 있는 베이와 스택의 선택의 폭이 늘어난다는 것이다. 둘째는 수출 컨테이너의 수가 하나의 베이의 수용량을 넘어서서 증가할 때 스택을 할당하는 방식이다. 셋째는 선처리를 수행할 때 컨테이너를 이동하는 범위가 하나의 베이 내에서 만의 이동에서 여러 베이들 간의 이동으로 증가할 수 있게 될 것이라는 점이다. 이들 세 가지 요소가 섞여서 성능을 높이기도 하고 낮추기도 할 것이다. 그리고 또 하나 성능에 영향을 미칠 요소는 최종적으로 적재되는 컨테이너의 양이다. 예를 들어 4단 6열의 경우 컨테이너를 한 베이에 수용할 수 있는 최대량이 21개인데 하나의 항구로 운반되어야 할 컨테이너의 수

가 한 베이 최대 수용량을 초과하지만 2개의 베이를 채우지 못할 경우라도, 컨테이너의 수가 22개(1베이 최대량 + 1개)일 때와 41개(1베이 최대량 + 20)인 경우는 성능에 적도인 선처리와 재취급 발생할 가능성이 달라질 것이다. 성능의 측정은 MDF 알고리즘을 대상으로 비교를 하게 되는데 이 모든 조건이 MDF 알고리즘에도 동일한 영향을 미칠 것이라는 점도 고려 사항이다.

컨테이너를 장치장에 반입할 경우에는 여러 베이, 여러 스택중 하나를 선택함으로써 이적이나 재취급 발생을 줄일 수 있으리라 생각이 되며, 이는 효율 상승으로 이어지리라 생각이 된다. 그러나 선처리를 수행할 때를 생각하면 베이 간의 컨테이너 이동은 베이 내의 이동에 비하여 생산성을 너무 저하시키므로 제한을 가하는 것이 바람직하다고 볼 때, 선처리의 효율만 생각하면 단일 베이보다 효율이 떨어질 수도 있으리라 생각이 된다. 물론 이는 스택의 할당방식에 따라 달라지리라 생각된다. 베이 전체를 할당할 경우 위의 예에서처럼 컨테이너 수가 22일 때는 2개의 베이에 22개를 적재하는 경우이므로 각 베이 별로 11개씩 적재 가능하므로 선처리에 융통성이 생길 수 있으므로 성능이 상승하리라 생각이 된다. 만약 스택단위로 할당을 한 상태에서 그 추가 할당된 스택이 다른 블록에 할당이 되었다면, 그 스택과의 이동은 불가능하므로 성능이 떨어질 수도 있다는 것이다.

제4장 실험 결과 및 분석

이 장에서는 앞에서 설명한 세 가지 휴리스틱의 효과를 분석하기 위하여 실시한 시뮬레이션에 대하여 언급한다. 먼저 시뮬레이션을 실시하기 위한 가정들과 실험에 대한 고려사항으로 알고리즘의 트레이드오프에 대하여 언급한다. 그리고 실험 결과는 크게 두 가지로 구분하여 기술하였다. 먼저 제안하는 휴리스틱들의 효과를 이적에 미치는 영향으로 분석을 실시하였으며, 다음으로 휴리스틱들의 재처리에 대한 효과를 분석하였다.

제1절 실험에 대한 가정 및 고려사항

장치장에서 발생하는 실제 상황은 상당히 많은 변수와 다양한 요소들로 이루어져 있으며 모든 변수와 요소들을 포함하여 실험하는 것은 현실적으로 불가능하므로 다음과 같은 가정을 바탕으로 실험을 한다.

작업 대상은 동일 목적 항을 갖는 배일로 제한한다.

장치장에 반입되는 컨테이너의 순위는 무작위이다.

한 순간에는 하나의 컨테이너만 반입된다.

애매한 경우를 없애기 위하여 컨테이너 무게는 서로 다르다.

반출순서와 적하순서는 무거운 컨테이너가 먼저인 것으로 한다.

다음은 각 알고리즘의 특징을 나타내고 있다. 세 알고리즘의 가장 큰 특징은 컨테이너의 무게 정보를 확보하는 시점과 정보의 양이다. 이를 요약 정리하면 다음과 같다.

컨테이너 무게 정보를 확보하는 시점과 확보하는 정보의 양

- AP 휴리스틱, DP 휴리스틱 : 장치장에 반입될 때 해당 컨테이너

만

- 확장 AP 휴리스틱 : 장치장에 반입을 시작하기 전 모든 컨테이너

다음은 본 알고리즘을 적용할 경우 고려해야할 사항으로 본 알고리즘을 적용할 경우 트레이드오프가 발생할 수 있다는 것이다. 트레이드오프는 외부트럭이 장치장에 진입한 후 선처리가 완료될 때까지 대기해야 할 경우에 해당한다. 외부트럭이 반입되는 시점에 그 트럭의 무게를 알게 되므로 외부트럭이 게이트 통과하는 시점부터 선처리를 시작할 수 있다. 외부트럭이 게이트를 통과한 후 베이에 도착할 때까지의 시간이 선처리를 완료할 때까지의 시간보다 빠르면 외부트럭은 대기해야 한다. 물론 모든 컨테이너 적재 시 선처리를 실행하는 것은 아니나 선처리를 실행해야할 경우 외부트럭이 대기해야 한다면 이는 컨테이너터미널의 고객 서비스를 떨어뜨리는 것이 될 것이다. 그래서 선처리로 인하여 외부트럭이 대기해야 할 경우 그 시간이 어느 정도인지 계산해 보고자 한다. 선처리로 컨테이너를 하나 이동하는 데 소요되는 시간과 장치장의 게이트를 통과하여 외부트럭이 장치 위치까지 이동하는 시간을 비교해서 외부트럭이 선처리로 인하여 대기해야 하는 시간을 계산할 수 있다. 먼저 선처리를 수행하는데 소요되는 시간은 컨테이너를 이동하는데 걸리는 시간으로 평균 135초정도⁹⁾ 걸린다. 그리고 외부트럭이 게이트를 통과하여 베이에 도착하는데 걸리는 평균 시간을 계산하면 게이트에서 중간에 위치한 베이로 이동하는 시간이 될 것이다. 적재 시 외부트럭의 이동속도는 평균 400m/분이 고 게이트에서 중간에 위치한 베이까지의 거리가 810m이므로¹⁰⁾ 외부트

9) 한진해운 신항만의 자료 이용

10) 장성용, 이원영, “시물레이션 기법을 이용한 컨테이너터미널 운영규칙의 평가”, 한국항만경제학회지, 제18집 1호, pp27-41, 2005. 에서 사용한 자료 이용하여 계산함. 게이트에서 장치장 첫 진입로까지의 거리는 100m로 가정.

럭이 게이트를 통과하는 시점에서 그 베이로 이동하는 데까지 소요되는 시간은 평균 약 120초가 된다. 그래서 외부트럭이 선처리 때문에 대기해야하는 시간은 평균 15초 정도가 되며 모든 적재 시마다 선처리를 수행하는 것이 아니라는 점까지 고려하면 이는 감수할 정도의 시간이라 고려된다.



제2절 이적에 대한 영향

먼저 이적에 대한 영향을 실험하였으며 그 결과 세 휴리스틱 모두가 MDF 휴리스틱에 비하여 높은 것으로 나타났다. 여기서 이적에 대한 영향이라는 것은 실험으로 반입을 위한 적재를 실험으로 수행했을 때 재처리가 발생하면 이적이 필요한 것으로 보고 그 횟수를 비교하였다. 비교 방법은 1000회에 대한 실험을 실시하여 이적이 필요한 횟수를 이 논문에서 제안하는 각 휴리스틱에 대하여 구하고 그 값을 MDF 휴리스틱에 대하여 구한 값과 상대적인 비율로 나타내었다. 먼저 AP 휴리스틱에 대하여 4단 6열의 베이에 대한 결과는 아래 <표 4-1>에 6단 9열의 베이에 대한 결과는 <표4-2>에 나타내었다.

<표 4-1> AP 휴리스틱의 이적에 대한 효과 - 4단 6열

장치수	19개	20개	21개
예상 선처리(A)	353	508	649
MDF(B)	582	697	822
A/B	60.7%	72.9%	79.0%

<표 4-2> AP 휴리스틱의 이적에 대한 효과 - 6단 9열

장치수	45개	46개	47개	48개	49개
예상 선처리(A)	856	876	919	946	970
MDF(B)	910	931	952	972	990
A/B	94.1%	94.1%	96.5%	97.3%	98.0%

두 표를 비교해 보면 모든 장치수에 대하여 AP 휴리스틱의 이적에 대한 효과가 나타나는 것을 알 수 있으며 그 중 장치수가 가장 많은 49개의

경우 98.0%로 가장 효과가 낮으나 장치수가 낮아질수록 그 효과가 높아지는 것을 알 수 있다. 가장 효과가 높은 경우는 4단 6열의 장치장에서 19개의 장치를 할 경우이며, 1000회의 적재 시 MDF와 비교하여 이적이 필요한 횟수가 353회 대 582회로 60.7%로 상당히 높은 것으로 나타났다. 49개의 경우 98.0%로 별 차이가 없는 것은 장치할 컨테이너 수가 많아질수록 재취급이 전혀 필요 없는 경우가 거의 없다고 볼 수 있기 때문인 것으로 보인다.

DP 휴리스틱의 결과는 다음의 두 표 <표 4-3>과 <표 4-4>에 나타나 있다.

<표 4-3> DP 휴리스틱의 이적에 대한 효과 - 4단 6열

장치수	19개	20개	21개
필요 선처리(A)	304	501	652
MDF(B)	582	697	822
A/B	52.2%	71.9%	79.3%

<표 4-4> DP 휴리스틱의 이적에 대한 효과 - 6단 9열

장치수	45개	46개	47개	48개	49개
필요 선처리(A)	856	881	924	949	972
MDF(B)	910	931	952	972	990
A/B	94.1%	94.6%	97.1%	97.6%	98.2%

DP 휴리스틱의 경우도 이적에 대한 효과가 가장 높을 때는 AP휴리스틱처럼 4단 6열의 장치장에서 19개의 장치를 할 경우이다. 실험 횟수가

1000회의 경우 MDF와 비교하여 이적이 필요한 횟수가 304회 대 582회로 52.2%에 해당한다는 것을 알 수 있다. 이는 AP 휴리스틱과 다음의 확장 AP 휴리스틱보다 높으며, 본 실험 결과 가장 높은 경우에 해당한다. 이 비율은 다소간의 차이가 있으나 장치수가 낮아질수록 높아지는 현상을 보이는 것은 AP 휴리스틱의 경우와 동일하다. 가장 효과가 낮은 경우도 6단 9열의 장치수 49개인 경우가 동일하며 이적에 대한 효과도 98%대 98.2%로 유사한 결과가 나왔다.

다음의 두 표 <표 4-5>와 <표 4-6>은 확장 AP 휴리스틱의 이적에 대한 효과를 나타내고 있다.

<표 4-5> 확장 AP 휴리스틱의 이적에 대한 효과 - 4단 6열

장치수	19개	20개	21개
개선 예상 선처리(A)	347	444	601
MDF(B)	582	697	822
A/B	59.6%	63.7%	73.1%

<표 4-6> 확장 AP 휴리스틱의 이적에 대한 효과 - 6단 9열

장치수	45개	46개	47개	48개	49개
개선 예상 선처리(A)	830	857	901	940	959
MDF(B)	910	931	952	972	990
A/B	91.2%	92.1%	94.6%	96.7%	96.9%

가장 효과가 있는 경우는 앞의 두 휴리스틱들처럼 4단 6열의 장치장에서 19개의 장치를 할 경우이며, 1000회의 적재 시 MDF와 비교하여 이적

이 필요한 횟수가 347회 대 582회로 59.6%에 해당한다는 것을 알 수 있으며, 가장 효과가 낮은 경우도 6단 9열의 장치수 49개일 때이며 효과는 앞의 두 경우보다 약간 높은 96.9%이다.

전체적으로 볼 때 장치수가 낮아질수록 이적에 대한 효과는 높아지며 장치수가 가장 높은 6단 9열의 49개가 가장 효과가 낮고, 장치수가 가장 낮은 4단 6열의 19개에 대한 효과가 가장 높다는 것을 알 수 있다. 이는 다음 절에서 다루는 재처리에 대한 영향의 결과와 연관이 있다고 볼 수 있다. 즉 다음 절의 결과를 보면 장치수가 낮아질수록 재처리 발생 가능성이 낮아지는 것을 알 수 있는데 재처리 발생 가능성과 이적의 발생횟수가 직접적으로 영향이 있기 때문에 일어나는 현상으로 생각된다.

세 휴리스틱을 비교할 경우는 가장 효과적인 경우는 DP 휴리스틱의 장치수 19일 경우였으나, 전반적으로 효과적인 휴리스틱을 꼽자면 골고루 효과가 있었던 확장 AP 휴리스틱이 가장 효과적이었다는 것을 알 수 있었다. 이는 확장 AP 휴리스틱이 컨테이너에 대한 정보의 양이 많고 실행 전에 정보도 미리 알고 있는 장점이 있으므로 당연한 결과로 생각된다. 즉, 확장 AP 휴리스틱은 다른 휴리스틱에 비하여 더 많은 정보를 이용하여 반입 시 불필요한 선처리의 횟수를 줄일 수 있으므로 해서 생긴 결과로 보인다.

제3절 재처리에 대한 영향

재처리에 대한 영향을 알아보기 위하여 실험을 통해 반입과정에서 선처리로 발생하는 이동횟수와 반출과정에서 발생하는 재취급의 횟수를 구하였다. 선처리는 컨테이너가 며칠에 걸쳐 반입되므로 분산되어 발생하는 특징이 있고 재취급은 컨테이너가 선적될 때 집중되어 발생하는 특징이 있다. 그래서 선처리의 효과를 비교할 때 단순 횟수의 비교만으로는 부족함이 있다고 볼 수 있다. 즉 같은 횟수가 발생하더라도, 선처리로 인한 지연은 본선작업에 직접적인 영향을 미치지 않고, 또 위에 언급한대로 분산하여 발생하므로, 본선작업 시에 발생하는 재취급보다는 성능에 미치는 영향이 낮다고 볼 수 있다.

실험 방법은 이적에 대한 영향에서 본 것과 같은 방법으로, 4단 6열의 장치장 구조에서 컨테이너의 수를 19개부터 21개까지, 6단 9열의 장치장 구조에서 컨테이너의 수를 45개부터 49개까지 증가하면서 실험을 1000회를 수행하였으며, 본 논문에서 제안하는 각 휴리스틱에 대하여 각 실험에서 발생하는 선처리 횟수와 재취급수 횟수를 더하여 이동횟수로 계산하여 그 평균을 구하였다. MDF 휴리스틱의 경우는 각 실험에서 발생하는 재취급 횟수를 구하여 그 상대적인 비율을 구하였다. <표 4-7>은 4단 6열을 실험한 결과 중 AP 휴리스틱의 결과이다. 이 표에서는 반입 선처리 시 이동횟수와 반출 시 이동횟수 그리고 그 합을, 그리고 MDF와 비교하였을 때의 각각의 비율도 함께 나타내고 있다.

<표 4-7> AP 휴리스틱의 재처리에 대한 효과 - 4단 6열

장치수	19개	20개	21개
반입 시 선처리 횟수(A)	1.455	1.709	1.916
반출 시 재취급 횟수(B)	0.448	0.731	1.110
합(C=A+B)	1.903	2.440	3.026
MDF 재취급 횟수(D)	1.206	1.774	2.506
비율(B/D)	37.1%	41.2%	44.3%
비율(C/D)	157.8%	137.5%	120.8%

실험 결과를 보면 AP 휴리스틱의 전체 이동수(위의 표에서 C)는 MDF의 재취급 횟수(D)보다 높으나 반출 시 재취급 횟수(B)와 비교하면, MDF의 재취급 횟수(D)보다 낮다는 것을 알 수 있다. 이는 <표 4-10>에 나타난 것처럼 6단 9열의 결과와도 유사하다. 선처리가 컨테이너 반입기간에 분산되어 이루어지는 점과 선처리의 이동 비용이 반출 때보다 낮다는 점을 감안하여, AP 휴리스틱의 효과를 재취급 횟수만을 가지고 비교한다면 효과를 다르게 평가할 수 있다. 즉, 재취급 횟수만을 가지고 비교한 결과인 비율(B/D)을 평가하면 장치수가 19개인 경우 MDF 휴리스틱에 대하여 37.1%의 효과가 있다는 것을 알 수 있다.

다음 <표 4-8>은 4단 6열의 DP 휴리스틱의 실험 결과이다. DP 휴리스틱의 경우 전체 이동 횟수가 모든 장치수(C)에 대하여 MDF 휴리스틱(D)보다 낮은 특징이 있으며 이는 6단 9열의 결과와도 유사하다.

<표 4-8> DP 휴리스틱의 재처리에 대한 효과 - 4단 6열

장치수	19개	20개	21개
반입 시 선처리 횟수(A)	0.506	0.609	0.690
반출 시 재취급 횟수(B)	0.431	0.734	1.220
합(C=A+B)	0.937	1.343	1.910
MDF 재취급 횟수(D)	1.206	1.774	2.506
비율(B/D)	35.7%	41.4%	48.7%
비율(C/D)	77.7%	75.7%	76.2%

그리고 앞에서 언급한대로 선처리가 컨테이너 반입기간에 분산되어 이루어지는 점과 이동의 비용이 반출 때보다 낮다는 점까지 감안하여, DP 휴리스틱의 효과를 재취급 횟수만 비교한 것으로 평가를 하면 장치수가 19개인 경우 MDF 휴리스틱에 대하여 35.7%의 효과가 있다는 것을 알 수 있다.

다음 <표 4-9>는 확장 AP 휴리스틱의 재처리 효과에 대한 표이다. 재취급 횟수만을 비교한 결과는 AP 휴리스틱의 결과와 비슷하나, 전체 횟수의 비교는 장치수가 19개인 경우 확장 AP 휴리스틱의 경우 109.4%, AP 휴리스틱의 경우 158.8%로 확장 AP 휴리스틱의 결과가 더 좋다는 것을 알 수 있다.

<표 4-9> 확장 AP 휴리스틱의 재처리에 대한 효과 - 4단 6월

장치수	19개	20개	21개
반입 시 선처리 횟수(A)	0.873	1.063	1.167
반출 시 재취급 횟수(B)	0.446	0.737	1.166
합(C=A+B)	1.319	1.800	2.333
MDF 재취급 횟수(D)	1.206	1.774	2.506
비율(B/D)	37.0%	41.5%	46.5%
비율(C/D)	109.4%	101.5%	93.1%

다음 <표 4-10>은 장치수가 6단 9월일 때 AP 휴리스틱의 실험 결과를 나타내며 재취급 횟수만 비교한 것으로 평가한 결과도 50%정도의 효과가 있다.

<표 4-10> AP 휴리스틱의 재처리에 대한 효과 - 6단 9월

장치수	45개	46개	47개	48개	49개
반입 시 선처리 횟수(A)	3.167	3.275	3.608	3.753	4.039
반출 시 재취급 횟수(B)	2.328	2.661	3.097	3.558	4.220
합(C=A+B)	5.495	5.936	6.705	7.311	8.259
MDF 재취급 횟수(D)	4.671	5.248	6.098	7.048	8.307
비율(B/D)	49.8%	50.7%	50.8%	50.5%	50.8%
비율(C/D)	117.6%	113.1%	110.0%	103.7%	99.4%

<표 4-11> DP 휴리스틱의 재처리에 대한 효과 - 6단 9열

장치수	45개	46개	47개	48개	49개
반입 시 선처리 횟수(A)	0.888	0.971	1.068	1.116	1.176
반출 시 재취급 횟수(B)	2.964	3.396	3.995	4.712	5.896
합(C=A+B)	3.852	4.367	5.063	5.828	7.072
MDF 재취급 횟수(D)	4.671	5.248	6.098	7.048	8.307
비율(B/D)	63.5%	64.7%	65.5%	66.9%	71.0%
비율(C/D)	82.5%	83.2%	83.0%	82.7%	85.1%

위의 <표 4-11>은 장치수가 6단 9열일 때 DP 휴리스틱의 실험 결과를 나타내며 결과의 내용은 4단 6열과 유사하다. AP 휴리스틱의 경우 4단 6열에서 6단 9열로 증가할 때 C/D의 비율이 낮아지는데 이는 잘못된 예측으로 인한 이동의 효과가 장치수가 증가하면서 상대적으로 줄어들기 때문으로 생각된다.

그와 반대로 DP 휴리스틱의 경우 4단 6열에서 6단 9열로 증가 할 때 C/D의 비율이 높아지는데 이는 정확한 선처리로 인한 이동의 효과가 장치수가 증가하면서 상대적으로 줄어들기 때문으로 생각된다. 전체적으로 보면 거의 모든 경우 DP 휴리스틱의 경우 MDF 휴리스틱보다 효과가 있다. 그리고 AP 휴리스틱도 6단 9열과 같이 장치수가 많고, 재처리의 횟수까지 중요한 경우에는 선택해볼 만하다고 생각된다.

<표 4-12> 확장 AP 휴리스틱의 재처리에 대한 효과 - 6단 9열

장치수	45개	46개	47개	48개	49개
반입 시 선처리 횟수(A)	2.047	2.076	2.279	2.299	2.522
반출 시 재취급 횟수(B)	2.442	2.728	3.229	3.803	4.532
합(C=A+B)	4.489	4.804	5.508	6.102	7.054
MDF 재취급 횟수(D)	4.671	5.248	6.098	7.048	8.307
비율(B/D)	52.3%	52.0%	53.0%	54.0%	54.6%
비율(C/D)	96.1%	91.5%	90.3%	86.6%	84.9%

확장 AP 휴리스틱의 경우 재처리에 대한 효과는 AP 휴리스틱과 비교해 보면 전체적으로 높은 것을 알 수 있다. 반출 시 재취급 횟수만 비교해 보면 약간 효과가 떨어지는 것을 볼 수 있지만 전체의 합을 비교할 경우는 효과가 더 높은 것을 볼 수 있다. DP 휴리스틱과 비교해 보면 AP 휴리스틱과는 반대의 결과가 나온다. 즉, 반출 시 재취급 횟수만 비교해 보면 확장 AP 휴리스틱이 약간 효과가 좋지만 전체의 합을 비교할 경우는 효과가 약간 나쁜 것을 알 수 있다.

제5장 결론

해상운송과 육상운송을 연계하는 대규모 물류기지인 컨테이너터미널은 치열한 국제적인 경쟁 환경으로 인하여 높은 생산성이 요구된다. 일반적으로 컨테이너터미널의 생산성은 GC, YC, YT 등을 포함한 하역 시스템의 생산성에 의해 평가된다. 컨테이너터미널에서 수행되는 하역작업 중 수출 컨테이너의 경우에는 터미널의 생산성에 영향을 미치는 부분은 이적의 발생과 재처리의 문제라고 볼 수 있다.

이적은 장치장이 여유 있는 시간을 이용하여 베이 전체를 대상으로 실시하는 측면에서 많은 비용이 필요한 방법이고, 재처리는 본선 작업 시에 수행해야 하므로 역시 높은 비용이 필요하다. 그래서 가능하면 이적이 발생하지 않게 장치장에 장치하는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 수출컨테이너에 대하여 반입 시에 선처리를 수행하여 적하 시에 재처리를 최소화하는 세 가지 알고리즘들을 제시하였다. 이 알고리즘은 장치장에서 컨테이너가 반입되는 시점에 선처리를 수행함으로써 유희시간의 이적가능성을 줄이고 반출 시점의 재취급 횟수를 줄이는 휴리스틱이다. 이 휴리스틱의 효과를 분석하기 위하여 시뮬레이션 방법을 사용하였으며 이적과 재처리를 최소화 하는 방안이므로 이적에 대한 효과와 재처리에 대한 효과로 나누어서 분석하였다.

반입되는 컨테이너에 대한 정보의 확보시기와 확보량을 기준으로 크게 두 가지로 휴리스틱을 분류하여 설명하였으며 그 결과를 언급해보면 다음과 같다. 이적에 대한 효과를 보면 전체적으로 이적발생가능성을 모두 줄이는 효과가 있었고, 세 방안 모두 장치수가 낮을수록 효과가 크다는 것을 알 수 있었다.

재처리에 대한 효과를 보면 먼저 반입AP 휴리스틱은 반입 시 선처리

횃수가 많은 반면에 반출 시 재취급의 횃수가 적은 특징이 있었고, DP 휴리스틱은 반입 시 선처리 횃수는 적은 반면에 전체 이동횃수는 MDF보다 적다는 특징을 알 수 있었다. 확장 AP 휴리스틱은 AP 휴리스틱과 유사한 성격을 가지고 있으나 AP 휴리스틱보다 효과적이라는 것을 알 수 있었다. 그리고 AP 휴리스틱과 확장 AP 휴리스틱의 경우는 4단 6열에서보다 6단 9열에서 더욱 효과가 있음을 알 수 있었다.

본 연구를 수행한 결과로 얻어진 주요한 성과들을 살펴보면 첫째, 수출 컨테이너를 장치장에 적재할 때 생산성을 향상시키기 위한 방안으로 선처리에 대한 연구를 수행했다는 것이다. 수출 컨테이너에 대한 생산성에 가장 영향을 미치는 것이 반입 시 컨테이너를 장치장에 적재하는 방법이라고 볼 수 있으나 반입 순서의 무작위성으로 인하여 이에 대한 연구가 미미하였으며 대부분의 연구는 이적에 집중되어 있었다. 반입 시에 장치장에 컨테이너를 적재하는 방법에 대한 연구도 장치위치를 선정하는 연구는 있었으나 선처리에 대한 연구는 없었다. 본 연구를 통하여 선처리에 대한 방안들을 검토하였고 생산성을 높이는 알고리즘을 제안하였다. 둘째, 본 논문에서 제시하는 알고리즘을 적용할 경우, 수출 컨테이너의 선박작업 시 발생하는 재취급에 의한 생산성저하를 어느 정도 해소할 것으로 기대된다는 것이다. 시뮬레이션을 이용한 실험결과 제안하는 세 가지 알고리즘 모두 효과가 있는 것으로 결론이 났다. 마지막으로 이 연구를 바탕으로 하여 선처리에 대한 관련 연구를 계속할 수 있으리라는 것이다. 즉, 향후 이 방안들과 연계한 이적 방안이나, 재취급 방안에 대한 연구를 계속해 나갈 수 있으리라고 생각되며, 반입 시에 컨테이너의 정보를 더 확보할 수 있다면, 그 정보들을 활용하여 더욱 효과적인 선처리 방안을 제안할 수 있으리라 본다.

그리고 본 논문에서 실험한 환경은 동일한 목적 항을 가진 베이로 제한

을 하였는데 컨테이너터미널의 실제적인 여러 요건이 적용되는 알고리즘으로 확대하여 다양한 환경조건에서 적용의 효과를 파악하는 것도 의미가 있으리라 생각되며, 그를 위하여 실제 터미널과 유사한 시뮬레이션 모델을 구축하여 본 휴리스틱 뿐 아니라 장치장의 성능에 영향을 미치는 여러 요소들에 대한 연구를 해보는 것이 필요하리라 생각된다. 예를 들어 본 연구는 하나의 베이를 대상으로 실시하였는데 대상을 여러 베이로 확장할 때의 효과가 어떤 것인가를 연구해 보는 것도 가능하리라 생각된다. 수출 컨테이너의 경우 동일 선박, 동일한 목적 항에 수출하는 컨테이너의 수가 하나의 베이의 수용량을 넘어설 경우 할당하는 베이는 복수개가 될 것이므로 그때의 경우의 이 휴리스틱들의 효과는 어떻게 될 것인가 하는 것이다. 여러 개의 베이에 컨테이너를 적재할 수 있게 되면 컨테이너를 적재할 수 있는 스택의 수도 같이 늘어날 것이고 외부트럭에서 장치장으로 적재할 때 베이와 스택을 선택할 수 있는 선택의 폭이 증가하므로 알고리즘의 효과도 같이 증가할 것이라는 것은 짐작할 수 있다. 물론 이 논문에서 비교하는 대상은 MDF알고리즘이므로 동일한 이유로 MDF알고리즘의 효과도 같이 증가하리라 짐작할 수 있다. 고려할 사항과 알고리즘에 변경할 내용 등을 언급하였으나 구체적인 내용은 향후 관련 연구를 수행할 과제의 하나로 남겨둔다.

참 고 문 헌

- [1] 강영문, “국제물류 환경변화와 우리나라 항만의 활성화 전략”, 「물류학회지」, 제14권 제2호, pp.49-71, 2004.
- [2] 강재호, 류광렬, 김갑환, “부정확한 무게 정보를 가진 수출 컨테이너를 위한 장치 위치 결정 규칙 생성 방법”, 「한국항해항만학회지」, 제 29권 제1호 춘계학술대회논문집, pp. 391-398, 2005.
- [3] 강재호, 류광렬, 김갑환, “장치장에서 베이 내 컨테이너의 효율적인 재정돈 방안”, 한국지능정보시스템학회 2004년도 추계학술대회, pp. 287-295, 2004.
- [4] 강재호, 오명섭, 류광렬, 김갑환, “반입 컨테이너 무게를 고려한 재취급 최소화 장치 위치 결정 방안”, 한국지능정보시스템학회 2004년 추계학술대회 논문집, pp. 271-278, 2004.
- [5] 강재호, 오명섭, 류광렬, 김갑환, “컨테이너 터미널 장치장에서 블록 내 이적을 위한 컨테이너 이동 순서 계획”, 「한국항해항만학회지」, 제 29권 제 1호, pp. 83-90, 2005.
- [6] 김갑환, 원승환, 양창호, 김영훈, 배종욱, “시뮬레이션을 사용한 자동화 컨테이너 터미널 레이아웃의 평가”, 한국경영과학회/대한산업공학회, 춘계공동 학술대회, pp. 418-421, 2001.
- [7] 김경진, “중국 항만의 물동량 증가에 따른 우리나라 항만의 발전 방안”, 순천대학교 석사학위논문, 2009.
- [8] 김민정, 박기역, 박태진, 류광렬, “자동화 컨테이너 터미널의 적하작업 효율 향상을 위한 블록 내 재정돈 계획 수립 방안”, 「한국지능정보시스템학회」, pp.357-364, 2007.

- [9] 김병홍, "우리나라 컨테이너 항만특성 분석", 한국해양대학교 석사학위논문, 2009.
- [10] 김창곤, 양창호, 윤동한, 최종희, 배종욱, "시뮬레이션 모델을 이용한 컨테이너 터미널 안벽능력 분석", 한국시뮬레이션학회 2001춘계학술발표대회 논문집, pp. 43-48, 2001.
- [11] 김현, 신승식, 송용석, 「컨테이너 하역론」, 박영사, 2009.
- [12] 남기찬, 광규석, 신재영, 김우선, "컨테이너 터미널 중장기계획 수립을 위한 시뮬레이션 모형 개발", 「대한교통학회지」, 제17권 제1호, pp. 159-171, 1999.
- [13] 류명욱, "컨테이너 터미널에서의 작업시간에 관한 연구", 부산대학교, 석사학위논문, 1988.
- [14] 박남규, "컨테이너항만 적정하역능력 산정 개선 용역 보고서", 해양수산부 용역보고서, 2006.
- [15] 박상훈, "Container terminal의 효율성 제고에 관한 연구", 경성대학교, 석사학위논문, 1988.
- [16] 박승락, "우리나라의 동북아 물류중심화를 위한 국제 물류네트워크 구축 방안", 「산업경영연구」 제28권 제2호, pp.129-166, 2005.
- [17] 박태원, "일본 5대 항만의 국제물류거점화 전략", 「월간해양수산」, 통권 제204호, 한국해양수산개발원, pp.8-17, 2001.
- [18] 박태진, 최이, 류광렬, "자동화 컨테이너 터미널의 복수 장치장 크레인을 위한 실시간 작업 계획 수립", 「한국항해항만학회지」, 제31권 제10호, pp.869-877, 2007.

- [19] 방희석, 서문성, 김승철, "중국항만개발전략에 따른 우리나라 항만개발투자 효율화 방안에 대한 연구", 「물류학회지」, 제13권 제1호, 한국물류학회, pp.49-69, 2003.
- [20] 배종욱, "장기개발계획을 위한 컨테이너 터미널의 처리능력 산정", Journal of the Korean Institute of Plant Engineering, Vol 8, No. 3, pp. 25-36, 2003.
- [21] 배종욱, 박영만, 김갑환, "자동화 컨테이너 터미널에서 수직형 블록의 이적 작업을 위한 할당 및 작업순서", 「한국항해항만학회지」, 제30권 제6호 pp. 457-464, 2006.
- [22] 배종욱, 박영만, 김갑환, "자동화 컨테이너 터미널에서 수출 컨테이너 이적 계획", 대한산업공학회/한국경영과학회 2006 춘계공동학술대회 논문집, 2006.
- [23] 서경무, "컨테이너 터미널에서 실시간 선적계획을 위한 의사결정 지원 모델에 관한 연구", 한국해양대학교 대학원 석사 학위 논문, 2006.
- [24] 송용석, 남기찬, 유주영, 김태원, "컨테이너 터미널의 장치장 활용 방안에 관한 연구", 「한국항해항만학회지」, 제30권 제3호 pp. 203-209, 2006.
- [25] 송재현, 오한모, 배상목, "우리나라 港灣의 e-Port 具現戰略에 관한 研究", 「통상정보연구」, 제4권 제2호 한국통상정보학회, pp.279-301, 2002.
- [26] 신재영, 오성인, 박종원, "컨테이너 셔틀 서비스를 위한 차량 경로 문제의 근사적 해법", 「한국항해항만학회지」, 제33권 제4호 pp. 583-588, 2009.
- [27] 오명석, 강제호, 류광렬, 김갑환, "복수 크레인을 활용한 블록 내 컨테이너 이적 계획", 「한국항해항만학회지」, 제29권 제5호 pp. 447-455, 2005.
- [28] 오인환, "컨테이너 터미널의 블록 내 효율적 재정돈 작업에 관한 연구",

한국해양대학교, 석사학위논문, 2007.

- [29] 왕승진, 김갑환, 박영만, 양창호, 김영훈, 배종욱, “자동화 컨테이너 터미널에서의 장치장 운영 시뮬레이션 연구”, 대한산업공학회/한국경영과학회, 2002 춘계공동학술대회, pp. 974-978, 2002.
- [30] 우종균, “세계 컨테이너 정기선시장의 중국효과”, 「월간해양수산」 제232호, 한국해양수산개발원, pp.8-17, 2004.
- [31] 원승환, 김갑환, “컨테이너 터미널에서 장치계획을 고려한 야드 크레인 배치 문제”, 「한국항해항만학회지」, 제33권 제1호, pp. 79-90, 2009.
- [32] 유주영, 송용석, 남기찬, 곽규석, “컨테이너 터미널의 효율적인 장치장 활용 방안에 관한 연구”, 「한국항해항만학회지」, 제30권 제3호, pp.203-209, 2006.
- [33] 윤원영, 최용석, 송진영, 양창호, “컨테이너 터미널에서 컨테이너 크레인의 하역능력 추정에 관한 시뮬레이션 연구”, IE Interfaces Vol. 14, NO. 1, pp. 67-78, 2001.
- [34] 이신규, “주요 외국 경쟁항만의 동북아 허브항만 전략”, 「창업정보학회지」, 제9권 제4호, pp. 149~166, 2006.
- [35] 이재민, “장치장 모니터링 시스템과 통합된 효율적인 수출 장치장 계획 시스템”, 한국해양대학교 대학원 석사 학위 논문, 2003.
- [36] 이종호, “반입 패턴을 고려한 동적 수출 장치장 운영 계획에 관한 연구”, 한국해양대학교 대학원 석사 학위 논문, 2007.
- [37] 임영길, “해운항만물류의 환경변화에 따른 우리나라의 Hub Port 구축 및 운영방안에 관한 연구”, 순천대학교 석사학위논문, 2004.

- [38] 장성용, 용운준, “시물레이션 기법을 이용한 자동화 컨테이너터미널의 운용전략에 관한 연구”, 한국시물레이션학회 2001 춘계학술발표대회 논문집, pp. 36-42, 2001.
- [39] 장성용, 이원영, “시물레이션 기법을 이용한 컨테이너터미널 운영규칙의 평가”, 「한국항만경제학회지」, 제18집 1호, pp27-41, 2005.
- [40] 조성제, “우리나라 해운항만 운송의 변천과정 및 전략과제”, 「창업정보학회지」, 제9권 제1호, pp161-183, 2006.
- [41] 최봉환, 신재영, 양윤옥, 신창훈, “정보화 수준을 고려한 컨테이너터미널의 효율성 평가”, 「한국항해항만학회지」, 제33권 제8호 pp. 573~581, 2009.
- [42] 최상희, “시물레이션을 이용한 컨테이너터미널 설계의 중요성과 정책적 추진방안”, 한국해양수산연구원, 「월간해양수산」, 통권 제229호, pp. 6-23, 2003.
- [43] 최상희, “컨테이너터미널 하역 시스템 구성요소 변화분석과 대응전략”, 「월간해양수산」, 제256호, 한국해양수산개발원, pp.37-56, 2006.
- [44] 최용석, 하태영, “초대형 컨테이너선 기항에 대응하는 항만생산성 예측”, 한국항해항만학회 제29권 제2호, 추계학술대회논문집 pp. 319-325, 2005.
- [45] 하창승, 조규성, 백천현, “시물레이션 기법을 적용한 환적 컨테이너터미널 운영분석 교육시스템 개발연구”, 수산해양교육연구, pp.346-354, 2007.
- [46] 하태영, 최용석, “시물레이션을 이용한 자동화 컨테이너터미널의 결합 생산성 분석”, 대한산업공학회/한국경영과학회 2004 춘계 학술대회, SB4-21~ SB4-24, 2004.
- [47] 하태영, 최용석, 김우선, “시물레이션을 이용한 컨테이너터미널의 장치장 설계”, 한국시물레이션학회 '03 추계학술대회 논문집, pp. 35-40, 2003.

- [48] 한철환, “동북아 항만들의 경쟁전략에 관한 연구”, 「해운연구:이론과 실천」, pp.33-67, 2002.
- [49] Alan R. and McKendall Jr., “Improved Tabu search heuristics for the dynamic space allocation problem”, *Computers & Operations Research* 35, pp. 3347- 3359, 2008.
- [50] B. Castilho and C.F Dagnazo, “Handling Strategies for Import Containers at Marine Terminals”, *Transportation Research*, Vol.27B, No.2, pp. 151-166, 1993.
- [51] Christian Bierwirth, and Frank Meisel, “A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals”, *European Journal of Operational Research*, 202 pp. 615-627, 2010.
- [52] Chuqian Zhang, Jiyin Liu, Yat-wah Wan, Katta G. Murty and Richard J. Linn, “Storage space allocation in container terminals”, *Transportation Research Part B* 37, pp. 883-903, 2003.
- [53] Der-Horng Lee, Hui Qiu Wang and Lixin Miao, “Quay crane scheduling with non-interference constraints in port container terminals”, *Transportation Research Part E* 44, pp. 124 - 135, 2008.
- [54] Der-Horng Lee, Jin Xin Cao, Qixin Shi and Jiang Hang Chen, “A heuristic algorithm for yard truck scheduling and storage allocation problems”, *Transportation Research Part E* 45 pp. 810-820, 2009.
- [55] Legato, P., Gulli, D., and Trunfio, R., “The quay crane deployment problem at a maritime container terminal”, Proceedings of the 22th European Conference on Modelling and Simulation, pp. 53-59, 2008.

- [56] Mihalis M. Goliás, Georgios K. Saharidis, Maria Boile, Sotirios Theofanis and Marianthi G. Ierapetritou, “The berth allocation problem: Optimizing vessel arrival time”, 2009 Palgrave Macmillan 1479-2931 *Maritime Economics & Logistics* Vol. 11, 4, pp.358-377, 2009.
- [57] Mohammad Bazzazi, Nima Safaei and Nikbakhsh Javidian, “A genetic algorithm to solve the storage space allocation problem in a container terminal”, *Computers & Industrial Engineering* 56, pp. 44-52, 2009.
- [58] Pasquale Legato and Rina Mary Mazza, “Berth planning and resources optimization at a container terminal via discrete event simulation”, *European Journal of Operational Research* 133, pp. 537-547, 2001.
- [59] Pasquale Legato, Roberto Trunfio and Rina Mary Mazza, “Simulation-based Optimization for the Quay Crane Scheduling Problem”, Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, pp. 2717-2725, 2008.
- [60] Qingcheng Zeng and ZhongzhenYang, “Integrating simulation and optimization to schedule loading operations in container terminals”, *Computers & Operations Research* 36 pp. 1935-1944, 2009.
- [61] Qingcheng Zeng, ZhongzhenYang and LuyuanLai, “Models and algorithms for multi-crane oriented scheduling method in container terminals”, *Transport Policy* 16 pp. 271-278, 2009.
- [62] ZHOU Peng-fei and KANG Hai-gui, “Study on Berth and Quay-crane Allocation under Stochastic Environments in Container Terminal”, *Systems Engineering - Theory & Practice*, 28 (1): pp. 161-169, 2008.