



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

탠덤 크레인을 고려한 컨테이너터미널
선적 계획

**Ship Loading Plan for Tandem Crane
in Container Terminals**

指導教授 申宰榮

The logo of Korea Maritime University is a circular emblem. It features a central stylized figure that resembles a crane or a ship's mast. The text "KOREA MARITIME UNIVERSITY" is written in a circular path around the top, and "해양대학교" (Korea Maritime University) is written in Korean at the bottom. The year "1945" is also visible within the emblem.

2009年 8月

韓國海洋大學校 大學院
東北亞物流시스템學科

權 純 哲

Ship Loading Plan for Tandem Crane in Container Terminals

Sun-Cheol Kwon

Department of Logistics Engineering
Graduate School of Korea Maritime University



Abstract

As the rapid increase of the container trade, most of the container terminals strive to improve the container handling productivity. Therefore, they consider to find efficient operating strategies and to introduce new container handling facilities. In terms of equipment, there are a variety of types of quay cranes. Single-lift crane operates only one container regardless of size and twin-lift crane operates two 20' containers or one 40' container simultaneously. Tandem crane, recently introduced, can operate four 20' containers or two 40' containers simultaneously. In this paper, we propose the mathematical model and the solution procedure of the ship loading scheduling problem for the tandem crane. The Genetic Algorithm and Tabu Search are suggested for solving the solution. Experimental results show that the heuristic algorithm obtains solutions similar to the optimal solutions by the optimization model.

목 차

ABSTRACT

제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 관련 문헌 연구	2
1.3 논문의 구성	4
제 2 장 컨테이너터미널의 하역시스템 및 양·적하 계획	5
2.1 컨테이너터미널의 하역시스템	5
2.1.1 안벽하역장비	5
2.1.2 야드하역장비	6
2.1.3 이송장비	7
2.2 컨테이너터미널의 양·적하 계획	8
2.2.1 양하 계획	8
2.2.2 적하 계획	9
2.3 양·적하작업 처리 과정	12
2.4 새로운 하역장비 도입 시 고려사항	13
2.4.1 양·적하계획 시 고려사항	13
2.4.2 양·적하작업 처리 시 고려사항	14
제 3 장 문제의 모형 및 해법	15
3.1 문제의 설정	15
3.2 모형	16
3.2.1 Notation(표기법)	16
3.2.2 모형	17

3.3 해법	18
3.3.1 해법의 구조	19
3.3.2 유전 알고리즘	20
3.3.3 타부 서치	23
3.4 실험 및 분석	26
제 4 장 결 론	34
참고문헌	35



표 목 차

<표 3-1> 선별확률 계산	21
<표 3-2> 최적해와 해법의 결과	27
<표 3-3> 실험 데이터 I	28
<표 3-4> 모집단의 크기에 따른 결과	28
<표 3-5> 세대 수에 따른 결과	29
<표 3-6> 교차율에 따른 결과	29
<표 3-7> 돌연변이율에 따른 결과	29
<표 3-8> 계산시간	29
<표 3-9> 실험 데이터 II	30
<표 3-10> 실험 결과	30



그 립 목 차

<그림 2-1> 트윈리프트와 텐덤리프트	5
<그림 2-2> RTGC와 RMGC	6
<그림 2-3> ARMGC와 교차 가능한 RMGC	7
<그림 2-4> 야드 트랙터(Yard Tractor)	7
<그림 2-5> 컨테이너터미널의 양·적하 계획 수립 절차	8
<그림 2-6> 양하작업 계획 예	9
<그림 2-7> 적하계획 시 선박의 안정성을 고려한 무게 분배	11
<그림 2-8> 셀 가이드가 있는 선박의 적하작업 계획	12
<그림 2-9> 셀 가이드가 없는 선박의 적하작업 계획	12
<그림 3-1> 속성에 따른 컨테이너 그룹화의 예	15
<그림 3-2> 해법의 구조	19
<그림 3-3> 잠재해의 표현	20
<그림 3-4> 타부 서치의 구조	24
<그림 3-5> 야드에서의 작업 분포	31
<그림 3-6> YT와 QC의 작업순서	31

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 글로벌 기업이 점차적으로 늘어남에 따라 국제무역의 수요와 중요성이 날로 증가하고 있다. 이러한 국제무역에서 운송의 대부분을 담당하는 해운산업도와 같은 흐름에 발맞추어 계속해서 발전을 거듭하고 있다. 선사는 앞으로 늘어날 수요에 대응하여 선박을 대형화하여 경쟁력을 갖추고 있고, 항만에서는 이러한 선사의 서비스 수준을 만족시키기 위해서 운영, 설비 등의 효율을 향상시키고 있다.

선박이 대형화 될수록 선사는 기항지를 축소하게 되고 이와 동시에 항만간에는 경쟁이 치열해지게 된다. 선박의 대형화와 기항지 축소는 그만큼 적은 기항지에서 많은 작업을 처리해야 한다는 것을 뜻한다. 또, 대형선일수록 정기선박일 경우가 대부분이므로 선박의 스케줄은 차질 없이 운항되어야 한다. 이러한 요인들은 항만에서의 빠른 작업 처리가 선사의 기항지 선정에 있어서 중요한 사항이라는 것을 알 수 있게 해준다.

국내 몇몇 컨테이너터미널에서는 최근 생산성을 높이기 위한 방안으로 텐덤 크레인을 도입하고 있다. 텐덤 크레인은 안벽하역장비(Quay Crane, QC)로서 기존에 사용되고 있던 안벽장비보다 한 번에 더 많은 컨테이너를 처리함으로써 생산성을 높일 수 있다. 하지만 동시에 야드 트랙터(Yard Tractor, YT) 두 대가 QC 작업 지점에 대기하고 있어야 하는 등 기존 장비와는 다른 특징을 보인다. 이러한 텐덤 크레인의 효율을 높이기 위해서는 운영방안의 변화가 요구되고 있지만, 아직까지 도입 되지 얼마 되지 않았기 때문에 효율적이라고 검증된 운영방안이 거의 없는 실정이다. 또, 앞으로 개장을 앞두고 있는 컨테이너터미널에서도 텐덤 크레인을 도입 할 계획이라고 알려져 있어서, 이를 효율적으로 운영할 수 있는 방안이 절실히 필요하다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 컨테이너터미널에서 텐덤 크레인을 고려하여 작업 생산성을 향상시킬 수 있는 방안에 대해서 연구한다.

1.2 관련 문헌 연구

본 논문에서 다루는 분야는 컨테이너터미널에서 턴덤 크레인을 고려한 선적계획이다. 관련 문헌 연구는 터미널에서의 적하계획에 관한 연구와 생산성 향상을 위한 터미널의 운영시스템으로 나누어 살펴보았다.

컨테이너 선박의 적하계획에 관한 기존 연구들은 국내·외에서 많이 이루어졌다. 대부분의 논문을 살펴보면 양·적하계획을 NP-Hard 또는 NP-Complete 문제로 정의하여, 문제의 규모가 조금만 커져도 최적해를 찾을 수 없기 때문에 최적해에 가까운 값을 비교적 빠른 시간 내에 풀 수 있는 휴리스틱 기법을 많이 제시하였다.

국외의 사례를 보면 Martin et al.(1988)은 TC의 이동시간 최소화, 야드에서의 재취급 최소화를 목적함수로 가지는 모형을 수립하였다. 모형화 과정에서 선박의 안정성, 컨테이너의 규격, 높이, 무게제약, 특수화물 등을 고려하였고, 문제에 대한 해법으로 Nearest container 휴리스틱을 제시하여 실험 및 평가를 하였다. Ambrosino et al.(2004)는 컨테이너가 모두 적재되는데 걸리는 시간을 최소화 하는 것을 목적으로 하는 적하계획을 모형화 하였다. 모형화 과정에서 컨테이너의 무게, 목적지, 규격, 선박의 안정도 등을 고려하였다. 그리고 이러한 조합최적문제를 풀 수 있는 휴리스틱을 제시하고 실험하였다. 또, Ambrosino et al.(2006)는 2004년 제시한 문제와 비슷한 적하계획 문제를 분해하여 접근하는 방식의 휴리스틱을 제시하여 문제를 풀었다. 그 이후 Sciomachen et al.(2006)는 위와 똑같은 적하계획문제를 3D-Bin Packing 문제의 개념을 도입하여, 컨테이너는 물건으로, 또 선박은 Bin으로 취급하여 문제를 풀었다.

국내의 경우 노진화(2001)는 컨테이너 선적계획을 두 단계로 나누어서 수행하였다. 첫 번째 단계는 컨테이너를 선박의 각 해치별로 배치하는 것이고, 두 번째 단계는 해치별로 배정된 컨테이너를 특정 슬롯에 배치하는 것이다. 그리고 이렇게 분해된 문제의 각 단계에 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 사용하여 해를 도출하였다. 신진용(2003)은 적하계획에서 재취급수와, 해치 이동수를 최소화 할 수 있는 문제에 대해서 연구하였고, 트리 서치를 이용한 휴리스틱 기법을 제안하여 문제를 풀었다. Kim et al.(2004)은 QC와 TC의 작업시간, 재취급, 컨테이너 무게에 대해서 작업이 올바르게

않을 경우 패널티를 부여하여 총 패널티를 최소화하는 것을 목적으로 하는 적하계획을 모형화 하였다. 모형화 과정에서 컨테이너의 무게, 적재높이, 목적지, 작업간섭 등을 고려하였다. 그리고 빔 서치를 이용하여 휴리스틱 알고리즘을 제시하고 해법을 실험하여, 다른 휴리스틱과 비교해 보았다.

컨테이너터미널에서의 생산성을 향상시키기 위한 터미널의 운영시스템에 관한 연구로 QC와 YT에 관한 운영으로 나누어 볼 수 있다.

QC운영의 경우 Goodchild et al.(2006)는 크레인 더블 사이클 운영을 고려한 양·적하 작업 순서를 결정하기 위하여 Proximal tack 전략을 제시하고 존슨규칙과 비교하였다. 또, 더블 사이클 운영시 효율을 평가하기 위해서 기존 싱글 사이클과 더블 사이클 운영에 필요한 이송장비의 대수를 비교하였다. 송장호(2007)는 더블 사이클 운영에 따르는 야드 운영방안을 국내 터미널의 실정에 맞도록 제시하였다. 또, 컨테이너 선박의 적재 상황에 따른 더블 사이클 최적 시작지점 산출 공식을 제시하였다. 정창윤(2009)은 앞서 제안된 더블 사이클 방식이 실제로 적용하기에는 어려움이 있을 것으로 판단하여 듀얼 사이클 방식을 제안하였다. 제약식을 만족하는 범위 내에서 듀얼 사이클 횟수를 최대화 하는 QC 스케줄링 문제를 유전알고리즘과, 타부 서치를 이용하여 해법을 제시하였다.

YT운영의 경우 이환욱(2003)은 YT 폴링의 개념과, YT의 배차 수립과정, 효율적인 운영을 위한 규칙을 따르는 YT 할당계획을 제시하고 실험을 통해 검증하였지만, 모델이 비교적 단순하고 제한적이었다. 최용석 외 1(2005)과 이후에 최용석 외 2(2006)는 컨테이너터미널의 생산성 향상에 영향을 주는 시스템에 YT 폴링 운영을 하나의 파트로 포함하여 시뮬레이션을 통해 검증하였고, 생산성 향상에 효율적임을 증명하였다.

기존 문헌을 살펴보면 대부분의 연구는 QC가 한 번에 하나의 컨테이너만을 작업할 수 있는 싱글리프트로 간주하여 연구하였다. 하지만 최근 국내·외에서 신식 하역장비를 도입하고 있는 실정이므로, 새로운 장비가 도입 되었을 시에 그에 맞는 연구도 필요하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 최근 국내 컨테이너터미널에 도입되고 있는 텐덤 크레인을 고려한 효율적인 적하계획에 대해서 연구한다.

1.3 논문의 구성

본 논문의 구성을 살펴보면, 1장에서는 먼저 연구를 진행하게 된 배경과 연구목적에 관하여 언급하고, 연구목적과 관련된 분야의 기존 문헌 연구를 살펴보았다. 2장에서는 컨테이너터미널의 하역장비 및 작업현황을 분석하고 새로운 하역장비가 도입될 시 고려사항에 대해서 분석하였다. 3장에서는 문제에 대한 계량적인 모형 및 해법을 제시하고 실험 및 분석을 하였으며, 마지막으로 4장에서는 결론을 도출하였다.



제 2 장 컨테이너터미널의 하역시스템 및 양·적하 계획

2.1 컨테이너터미널의 하역시스템

2.1.1 안벽하역장비(Quay Crane, QC)

QC는 컨테이너 터미널의 생산성에 직접적인 영향을 미치는 장비로 선박 접안 시에 선박으로부터 컨테이너를 양하하거나, 적하하는 중요한 역할을 맡고 있다. 국내 QC의 경우 북향에서는 20', 40'를 각각 하나씩만 작업 할 수 있는 싱글리프트와 20'를 동시에 2개 작업할 수 있는 트윈리프트를 보유하고 있다. 신항의 경우에는 20'컨테이너 4개, 또는 40'컨테이너 2개를 동시에 작업 할 수 있는 텐덤리프트 크레인을 새롭게 도입하였고, 또 개장 예정에 있는 터미널에서도 이들 크레인을 도입하기로 되어 있다. 텐덤 크레인을 이용하여 양·적하 작업을 할 경우 기존 크레인의 작업에 비해서 최대 2배 이상 빨리 처리 할 수 있기 때문에 생산성 향상에 많은 영향을 줄 것으로 예상된다. 하지만 기존의 운영방법은 텐덤 크레인의 특징을 고려하지 않았으므로 효율을 크게 볼 수 없기 때문에 텐덤 크레인을 고려한 운영방안이 필요하다고 할 수 있다. 외국의 사례를 보면 중국의 양산항에서 먼저 텐덤 크레인을 도입하여 사용 중에 있지만, 아직까지는 텐덤 크레인의 효과를 크게 보지 못하고 있다.



<그림 2-1> 트윈리프트와 텐덤리프트

2.1.2 야드하역장비(Transfer Crane, TC)

컨테이너 야드에 설치되어 야드에 운반되어진 컨테이너를 적재 또는 반출하는데 사용되는 장비이다. 종류는 크게 RTGC(Rubber Tired Gantry Crane)와 RMGC(Rail Mounted Gantry Crane) 두 가지로 나누어진다. RTGC는 야드운영시 유연성이 좋으며, 장비가격이 RMGC에 비해서 저렴한 장점이 있으나, 소음 및 공해문제, 타이어 마모에 따른 유지보수 비용, 유류비에 따른 비용 부담 등의 단점을 가지고 있다. RMGC는 초기 투자비가 고가이며, 야드 운영 시 RTGC에 비해서 유연성이 부족하다는 단점이 있으나, 전력을 에너지원으로 사용하기 때문에 에너지 비용이 저렴하고, 공해가 적으며, 유지보수 비용이 저렴할 뿐만 아니라 있는 자동화 기술 적용에 용이하다는 장점이 있다.



<그림 2-2> RTGC와 RMGC

최근에는 유류비의 상승, 자동화에 대한 관심 등의 이유로 RMGC를 선호하고 있는 추세이고, 국내에서 새로 개장하는 터미널의 대부분은 작업자가 탑승하지 않고 컴퓨터를 통해서 작업 할 수 있는 ARMGC(Automated RMGC)를 도입하고 있다. 외국의 일부 선진터미널의 경우에는 높이가 서로 다른 두 개의 크레인을 하나의 블록에 배치하여 교차가 가능하도록 하여 생산성을 높일 수 있는 크레인을 운영하고 있다.



<그림 2-3> ARMGC와 교차 가능한 RMGC

2.1.3 이송장비

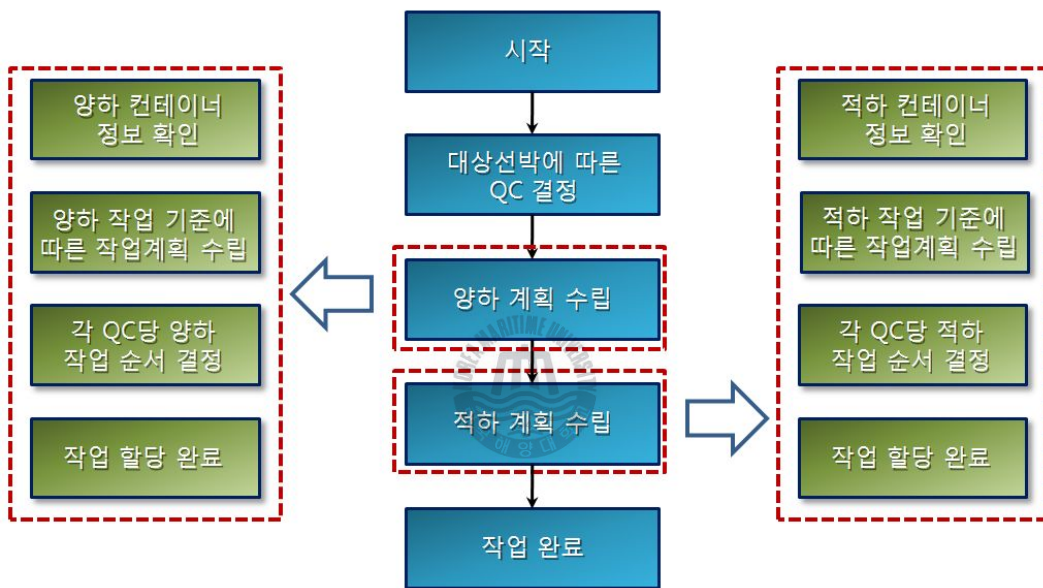
이송장비는 컨테이너터미널 내에서 컨테이너를 이송하는데 사용되는 장비를 말한다. 국내의 대부분 터미널에서는 예전부터 이송장비로 야드 트랙터(Yard Tractor, YT)를 주로 이용하고 있다. YT는 샤시와 결합된 가장 보편적인 장비 타입이며, 샤시에 적재된 컨테이너를 야드 내에 운반하는 장비이다. YT에는 40' 컨테이너 1개 또는 20' 컨테이너를 최대 2개 까지 운송할 수 있다. 기타 이송장비로는 자동화 터미널에서 많이 사용되는 AGV(Automated Guided Vehicle), 하역기능까지 갖추어진 ALV(Automated Lifting Vehicle), Straddle Carrier 등이 있다.



<그림 2-4> 야드 트랙터(Yard Tractor)

2.2 컨테이너터미널의 양·적하 계획

컨테이너터미널에서 플래너는 선박이 접안하기 이전에 미리 선박의 양·적하 컨테이너의 작업계획을 결정해야 한다. 먼저 접안할 선박과 작업물량을 고려해서 QC의 수와 작업위치 등을 결정하고, 세부적으로 양하작업 계획과 적하작업 계획을 수립한다.



<그림 2-5> 컨테이너터미널의 양·적하 계획 수립 절차

2.2.1 양하 계획

양하계획은 본선에 적재되어 있는 컨테이너의 양하 순서를 결정하는 것으로 주로 수입컨테이너와 환적컨테이너가 그 대상이 된다. 양하 컨테이너는 양하 후에 야드에 적재할 수 있는 위치가 적하 컨테이너에 비해서 자유롭고 고려해야할 사항이 적어서 비교적 간단하게 작업 계획을 수립 할 수 있다. 일반적으로 규격이 40'인 컨테이너를 모두 양하한 이후에 20' 컨테이너를 양하 하는데, 데크의 컨테이너를 양하 할 때와 홀

드의 컨테이너를 양하 할 때 순서는 조금 다르다. 데크에서는 40' 컨테이너 중 가장 높은 층에 있는 컨테이너를 기준으로 육측에서부터 해측방향으로 양하작업을 하고, 40' 컨테이너 작업이 모두 완료되면 20' 컨테이너를 40'의 작업기준과 동일하게 하여 양하한다. 홀드의 경우에는 40' 컨테이너 중 육측에 가까운 로우의 컨테이너를 모두 양하하고, 다음 로우의 40' 컨테이너를 모두 양하하는 식으로 이루어진다. 40' 컨테이너가 모두 양하된 이후에 20' 컨테이너도 위와 같은 방식으로 양하작업이 이루어진다. 아래 <그림 2-6>는 양하작업 계획의 예를 나타낸 것이다. 만약 셀가이드가 없는 선박인 경우에는 홀드에서도 데크와 같은 작업 기준으로 양하 작업이 이루어진다.



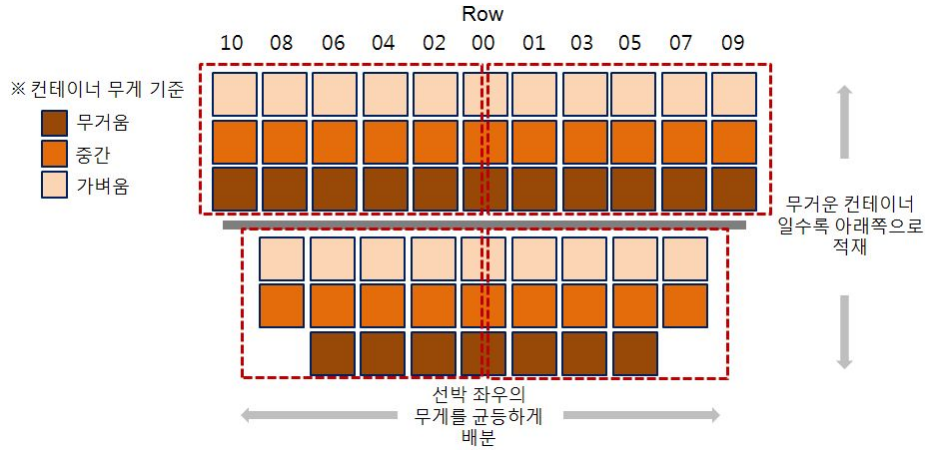
<그림 2-6> 양하작업 계획 예

2.2.2 적하 계획

적하계획은 본선에 적재할 컨테이너의 적하순서와 위치를 결정하는 것으로, 컨테이너의 목적지, 무게, 규격, 적재될 선박의 안정성등을 고려해서 계획해야 한다. 위의 고

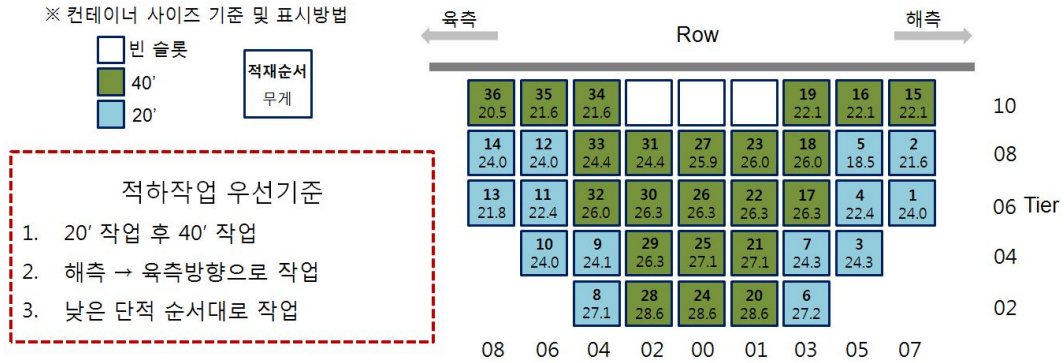
려사항을 모두 만족하면서 계획하는 것은 NP-Hard 문제로 취급되어 국내·외 여러 학자들 사이에서 많은 휴리스틱 기법들이 제안되고 있다. 하지만 대부분 싱글리프트를 고려하여 안벽하역장비가 한번 작업 할 때 하나의 컨테이너만을 이동할 수 있도록 설정하여 문제를 풀었기 때문에, 실제로 국내 대부분의 터미널에서 사용 중인 트윈리프트와 최근 국내에 도입되고 있는 텐덤 크레인에 적용하기에는 어려움이 있다.

적하계획은 양하계획과는 반대로 20' 컨테이너가 모두 작업이 완료된 후에 40' 컨테이너를 작업한다. 먼저 선사에서 보내온 선적 계획을 기초로 하여 각 QC가 처음으로 작업해야 하는 베이의 목적지와 규격이 맞는 컨테이너들이 장치된 블록을 살펴본다. 대상 컨테이너들 중에서 무거운 컨테이너를 아래쪽에 위치시킴으로서 선박의 안정도를 고려할 수 있기 때문에 되도록 무거운 컨테이너일수록 빠른 작업순서를 부여한다. 컨테이너선박의 안정도는 선사측에서 어느 정도 고려되어 작업계획서가 전달되기 때문에 컨테이너선박 전체의 안정도를 모두 고려할 수는 없고, 터미널에서 적재해야 하는 위치에 한해서 안정도를 고려하여 적하작업 순서를 부여하게 된다. 선박의 안정도를 고려할 수 있는 방법은 여러 가지가 있을 수 있는데, 많은 요소를 고려해야 하기 때문에 정확한 계산을 하기 위해서는 많은 시간이 소요된다. 그렇기 때문에 국내 터미널에서는 선박의 중앙을 기준으로 선박을 좌측과 우측으로 구분하고 양측에 무게가 되도록이면 균등하게 분배될 수 있도록 하고, 선미와 선수에는 가벼운 컨테이너를 적재하여 컨테이너 선박의 횡을 방지한다. 또 선박의 각 로우에 적재될 컨테이너 무게의 합이 허용가능 무게를 초과하도록 적재 하지 않는다. 아래 <그림 2-7>는 적하계획 시 선박의 안정성을 고려한 무게 분배를 나타낸 것이다.

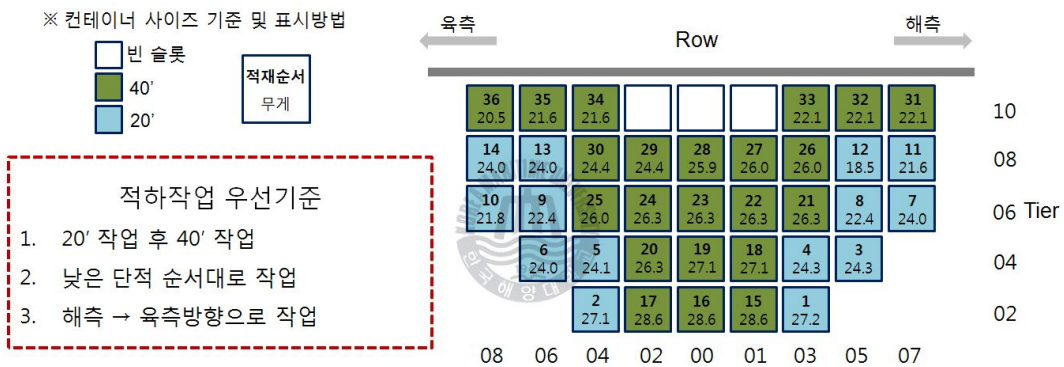


<그림 2-7> 적하계획 시 선박의 안정성을 고려한 무게 분배

작업순서는 셀 가이드가 있는 선박과 없는 선박에 따라서 차이를 보인다. 셀 가이드는 홀드에 적재되는 컨테이너들 사이에 무너짐을 방지하기 위한 것으로 대형선박에는 대부분 존재한다. 셀 가이드가 있는 선박의 경우에는 홀드에서 컨테이너의 무너짐을 고려하지 않아도 되기 때문에 먼저 20' 컨테이너를 대상으로 해측의 로우부터 적재해야 할 컨테이너를 모두 적재 후에 육측 로우로 이동하면서 적재하고, 다음으로 40' 컨테이너를 20' 컨테이너 적재기준과 동일하게 적재한다. 셀 가이드가 없는 선박의 경우 홀드에서 세로방향으로 먼저 적재하면 컨테이너가 무너질 수 있으므로 티어 단위로 모두 적재한 다음에 위쪽 티어를 작업하는 순서로 작업이 이루어진다. 적하작업에서는 양하작업과는 반대로 해측부터 작업을 먼저 하게 되는데, 그 이유는 육측부터 먼저 적하를 하게 되는 경우 이웃하여 붙어있는 해측의 로우 작업 시 시야의 방해가 있을 수도 있고, 육측에 적재된 컨테이너가 더 높이 쌓여있으므로 스프레더의 이동이 비효율적이고 안전하지 못하기 때문이다. 아래 <그림 2-8>과 <그림 2-9>은 셀 가이드 유무에 따른 적하작업 계획을 예를 들어 나타낸 것이다. 데크의 경우에는 셀 가이드 유무와 관계없이 셀 가이드가 없는 선박의 홀드의 작업순서와 동일하게 이루어진다.



<그림 2-8> 셀 가이드가 있는 선박의 적하작업 계획



<그림 2-9> 셀 가이드가 없는 선박의 적하작업 계획

2.3 양·적하작업 처리 과정

양하작업은 QC가 선박으로부터 컨테이너를 양하하면 아래에서 대기하고 있던 YT가 컨테이너를 싣고 장치장의 수입블록으로 이동을 하고, 야드 장치장 하역장비인 TC가 도착한 컨테이너를 장치장에 적재하는 순서로 이루어진다. 이러한 흐름이 끊김 없이 이루어지면 최상의 생산성을 도출해 낼 수 있다. 하지만, 제한적인 장비 수와 작업 간에 간섭이 발생하는 등 원활하지 않은 작업 흐름으로 생산성이 많이 감소되고 있다. 특히, 본선에서의 QC, YT의 대기시간, 야드에서의 TC, YT의 대기시간이 생산성 감소에 가장 큰 영향을 미치고 있다. 이러한 대기시간을 줄이기 위해서 YT 풀링

이나 실시간 YT 추적시스템과 같은 많은 운영전략이 제시되고 있다.

적하작업은 양하작업과 반대로 이루어진다. 먼저 야드 장치장에서 TC가 수출 컨테이너, 환적 컨테이너를 YT에 실어주고 YT가 안벽으로 이동하면 QC가 컨테이너를 적재함으로 해서 적재가 이루어진다.

2.4 새로운 하역시스템 도입 시 고려사항

최근에 새롭게 개장하고 있는 터미널이나 곧 개장 예정인 터미널에서는 안벽생산성의 향상을 위해서 기존 터미널에서 주로 사용하였던 싱글리프트, 트윈리프트를 대신하여 텐덤리프트가 장착된 QC를 도입하고 있다. 텐덤 크레인의 경우 4개의 20' 컨테이너를 동시에 작업할 수 있으므로, QC 작업시간을 기존의 장비에 비해서 대폭적으로 줄일 수 있다. 하지만 아직까지 텐덤 크레인을 고려한 효율적인 양·적하계획은 연구가 부족한 실정이다. 또, 텐덤 크레인과 연계되는 장비인 YT와 TC의 경우에도 텐덤 크레인과 작업연계가 원활하지 못하다. 그렇기 때문에 현재의 시스템으로 텐덤 크레인을 고려한 효율적인 작업을 위해서는 양·적하계획을 할 때나, 양·적하작업 처리 시에 추가적인 고려사항이 필요하다.

2.4.1 양·적하계획 시 고려사항

텐덤 크레인은 트윈 스프레더가 병렬로 2개가 장착되어 있는 것과 같은 상태이기 때문에 기존의 QC와는 다르게 선박의 로우와 티어까지 고려해서 계획해야 최대의 효율을 낼 수 있다. 적하 작업 시 텐덤 크레인의 특성상 근접하고 있는 베이간에 티어의 높이가 다를 경우 작업이 불가능한 경우가 생기므로 최대한 티어의 높이를 동일하게 가져가는 계획이 필요하다. 서로 다른 로우의 경우도 마찬가지로 근접하고 있는 로우의 티어높이가 다를 경우 텐덤 작업이 불가능하다. 그렇기 때문에 근접하고 있는 로우 간에 티어의 높이도 동일하게 맞추는 노력이 필요하다. 하지만 무조건 텐덤 작업이 가능하다고 해서 텐덤 작업으로 적하계획을 수립해서는 안 된다. 왜냐하면, 텐덤

작업을 하기 위해서는 YT 2대가 QC 작업지점에 도착해 있어야 하는데 가져와야하는 컨테이너의 위치가 서로 크게 차이가 날 경우 다른 YT한대를 기다리는데 QC와 YT의 대기시간이 발생하기 때문이다. 그러므로 계획 시에 되도록이면 동시에 QC에 도착할 수 있는 작업 계획이 필요하다.

2.4.2 양·적하작업 처리 시 고려사항

양·적하 작업처리 시 고려사항은 QC, YT, 야드 운영으로 나누어 볼 수 있다.

QC의 경우 적하계획상에 20' 컨테이너 4개를 동시에 적재하도록 되어 있다고 하자. 만약 2대의 YT 중에 한 대는 이미 도착해 있는 상태이지만 나머지 한 대의 YT가 QC에 도착하기까지 많은 시간이 남아서 QC와 YT의 대기시간이 발생할 경우 먼저 도착한 YT를 먼저 작업하고 그 후에 다시 한번 더 작업하는 것이 나은지, 아니면 다른 YT까지 도착한 후에 4개를 동시에 적재하는 것이 더 나은지, 전체 작업시간을 단축시킬 수 있도록 효율적인 운영을 해야 한다.

YT는 작업 시에 최대한 대기시간이 발생하지 않도록 운영되어야 한다. 텐덤 크레인을 도입하고 있는 신항의 경우 YT는 풀링시스템으로 운영되고 있는데, 일반적으로 풀링시스템은 근처에 있는 YT나 가장 먼저 작업위치에 도착할 수 있는 YT에 작업을 할당 한다. 하지만 텐덤 크레인을 활용하여 20' 컨테이너 4개를 동시에 작업해야하는 작업이 부여되었을 때 단순히 작업위치에 가까운 YT나, 가장 먼저 도착할 수 있는 YT에 작업을 부여하면, 만약의 경우 두 대의 YT가 컨테이너를 실어서 QC까지 오는 데 걸리는 시간의 차이가 커 질 수도 있다. 그렇기 때문에 운영을 단순히 풀링으로 할 것이 아니라 텐덤 크레인의 효율을 최대로 할 수 있도록 운영해야 할 것이다.

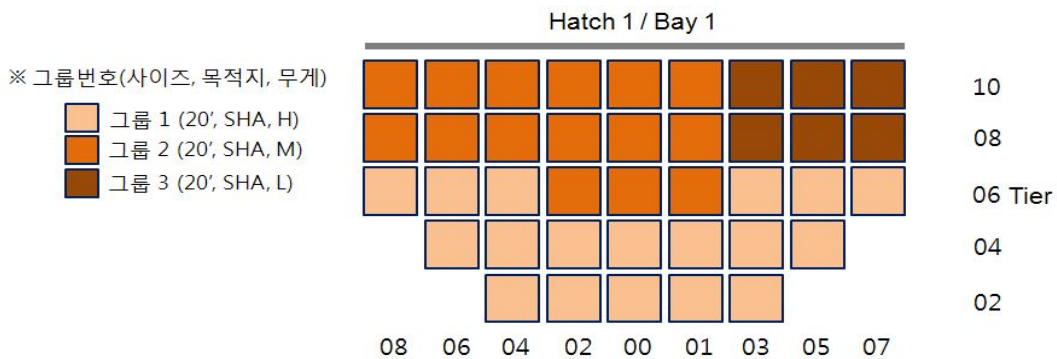
야드 운영의 경우 하나의 블록에 대부분의 컨테이너가 몰려있거나 너무 먼 곳에 떨어져 있으면 TC의 작업과부하로 인한 YT의 대기시간이나 작업간 거리에 따른 YT의 대기시간이 발생할 수 있다. 그러므로 야드에 컨테이너 구조를 텐덤 크레인의 효율을 최대로 할 수 있는 방향으로 배치되도록 고려해야 한다.

제 3 장 문제의 모형 및 해법

2장에서는 적·양하작업에 관여하는 장비 소개, 적·양하계획, 적·양하 작업이 처리 되는 과정에 대해서 살펴보았다. 또, 텐덤 크레인이 도입 되었을 때 예상되는 문제점에 대해서도 제시하였다. 3장에서는 텐덤 크레인이 도입 되었을 때 이러한 적·양하작업을 빠르게 처리하기 위한 계량적 모형과 해법을 연구하였다. 또, 실험을 통하여 해법의 효율을 분석하였다.

3.1 문제의 설정

가장 먼저 선박에 적재되어야 하는 모든 컨테이너들을 속성에 따라 그룹화 한다. 속성은 적재될 해치, 컨테이너의 규격, 컨테이너의 목적지, 컨테이너의 무게로 구성한다. 아래 <그림 3-1>은 컨테이너들이 속성에 따라 그룹으로 구분되는 예를 들어 나타낸 것이다. 속성에 따라 그룹화 된 컨테이너 간에는 어느 작업이 먼저 이루어져도 상관없이 있으므로 작업 선후 관계는 고려되지 않는다. 모든 컨테이너의 그룹화가 이루어지고 나면 그룹들의 QC 작업 순서를 결정하고, 그룹 단위로 작업스케줄을 효율적으로 수립하여 전체 작업스케줄을 결정한다. 마지막으로 작업스케줄에 따라서 텐덤 크레인을 고려한 YT 작업 할당으로 전체 작업 계획을 완료한다.



<그림 3-1> 속성에 따른 컨테이너 그룹화의 예

본 논문에서는 선적계획 문제를 풀어나가는 과정에서 그룹 단위로 이루어지는 작업의 YT 할당 문제에 대해서 모형을 수립하였다. 이때 작업 스케줄은 확정되어 있고, 트윈/텐덤 작업만 이루어진다고 가정하였다. 이렇게 가정한 이유는 싱글 작업의 경우 트윈이나 텐덤 작업과 혼용되면 QC의 이동이 잦아지게 되므로 작업시간의 지연이 많이 발생하기 때문이다. 그러므로 싱글 작업으로 이루어지는 컨테이너는 먼저 처리되어 있다고 가정하고 트윈/텐덤 작업만을 고려한다.

본 논문에서 고려한 가정 및 제약조건은 다음과 같다.

- 작업은 그룹 단위로 이루어진다.
- 적하 작업만을 고려하고 특수 컨테이너는 고려하지 않는다.
- QC 작업 시 한 번에 작업 되는 컨테이너 수와 관계없이 작업시간은 동일하다.
- 선박에 적재되어야 할 컨테이너와 순서는 결정되어 있다.
- 작업 순서가 늦은 컨테이너는 작업 순서가 빠른 컨테이너 보다 먼저 처리 될 수 없다.
- 텐덤 작업은 두 대의 YT가 컨테이너를 싣고 QC 작업지점에 위치하였을 때 가능하다.

위와 같은 가정 및 제약조건 하에서 텐덤 크레인을 고려한 적재 모형을 제시한다.

3.2 모형

3.2.1 Notation(표기법)

본 모형에서 사용되는 표기법은 다음과 같다.

<인덱스 셋>

TD: 텐덤 작업이 불가능한 슬롯의 셋

$N = \{1, 2, \dots, n\}$: 작업해야 할 컨테이너 셋

<입력 데이터>

C : QC 가 작업을 한번 처리하는데 걸리는 시간

d_j : 야드에서 j 컨테이너를 싣고 오는데 걸리는 시간

<결정 변수>

x_i^k : 컨테이너 i 가 YT k 에 할당되면 1, 그렇지 않으면 0

y_i : 컨테이너 i 가 텐덤으로 처리될 경우 1, 그렇지 않으면 0

t_i : QC 가 야드로부터 실어온 컨테이너를 작업하는 시간
(YT 가 공차가 되는 시간)

3.2.2 모형

<목적 함수>

$$\text{Minimize } t_n \quad (1)$$



<제약식>

$$\sum_k x_i^k = 1 \quad i \in N \quad (2)$$

$$t_i + d_j \leq t_j + M(2 - x_i^k - x_j^k) \quad i < j, i \in N, j \in N, k \in YT \quad (3)$$

$$t_{i+1} - t_i \geq C(1 - y_i) \quad i \in N, i \neq n, i \neq TD \quad (4)$$

$$t_{i+1} - t_i \leq M(1 - y_i) \quad i \in N, i \neq n, i \neq TD \quad (5)$$

$$y_i + y_{i+1} \leq 1 \quad i \in N, i \neq n, i \neq TD, i+1 \neq TD \quad (6)$$

$$t_i \geq \sum_k d_i^k x_i^k \quad i \in N \quad (7)$$

$$x_i^k = 0 \text{ or } 1, y_i = 0 \text{ or } 1 \quad i \in N \quad (8)$$

수식 (1)은 목적함수로 QC가 마지막으로 처리하는 컨테이너의 작업시작시간을 최소로 한다. 수식 (2)는 모든 작업은 반드시 하나의 YT에 의해서 처리된다는 것을 나타낸다. 수식 (3)은 같은 YT에 할당된 컨테이너 작업 간 처리시간에 대한 제약을 나타낸 식이다. 수식 (4)와 (5)는 텀업 작업이 발생 했을 때나 그렇지 않을 때 작업시간에 대한 제약을 나타낸 식이다. 수식 (6)은 텀업 작업에 대한 제약을 나타낸 식이다. 만약 작업 1과 작업 2가 텀업으로 이루어지면 작업 2와 작업 3은 텀업으로 이루어질 수 없다는 것을 나타낸다. 수식 (7)은 작업을 가져오는 시간보다 작업을 처리하는 시간이 늦어야 한다는 것을 나타낸 제약식이다. 수식 (8)은 0-1 변수를 정의한 식이다.

3.3 해법

본 논문에서는 메타휴리스틱인 유전 알고리즘과 타부 서치를 이용하여 해법을 제시하였다.


유전 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)은 찰스 다윈의 자연선택과 멘델의 유전법칙을 모방한 확률적 탐색기법이다. 유전 알고리즘은 문제의 잠재해를 표현한 개체들로 이루어진 모집단을 가지고 시작한다. 모집단은 매 세대마다 일정수의 개체를 유지하고 매 세대에서 각 개체의 적응도를 평가하여 이에 따라 다음 세대에 생존할 개체들을 확률적으로 선별한다. 선별된 개체들 중 일부의 개체들이 임의로 짝을 지어 교배하여 자손을 생성한다. 이 때 교차에 의해 부모의 유전자가 자손에게 상속되고 돌연변이가 일어날 수 있다. 자손은 부모로부터 좋은 유전형질을 상속받는다고 가정함으로써 다음 세대의 잠재해들은 평균적으로 전 세대보다 더 좋아진다고 볼 수 있다. 이러한 진화과정은 종료조건을 만족할 때 까지 반복한다.

타부 서치(Tabu Search, TS)는 인간의 기억과정을 이용한 것으로, 인공지능 분야에서 선택된 개념에 기초를 둔 기법이다. 최초 Glover에 의해서 현재의 형태로 제시되었고, Hansen에 의해서 처음으로 기본 아이디어가 제시 되었다. 타부 서치는 3개의 기본적인 특징이 있다. 첫 번째는 유연한 성질이 있는 컴퓨터 기억구조를 사용한다는 것이고, 두 번째는 타부리스트와 열망기준을 두고 제한적인 탐색을 하게 된다는 것이

다. 마지막으로 다양화와 강화 전략을 통해서 탐색하지 않은 새로운 영역을 찾아가거나, 최적해가 있을 것으로 예상되는 지역을 집중적으로 탐색하는 등의 특징이 있다. 타부 서치는 이러한 특징을 유연하게 활용하여 빠른 시간 내에 최적해에 근접하는 해를 도출한다.

3.3.1 해법의 구조

해법은 전체적으로는 유전 알고리즘의 흐름을 따르고, 유전알고리즘의 적응도 평가 부분에 타부 서치를 적용하여 적응도 값을 도출한다. 유전 알고리즘의 잠재해는 작업 스케줄로 설정하였다. 교차는 순서교차(Order Crossover)를 이용하였고, 돌연변이는 역순방법(Inversion Mutation)을 이용하였다. 아래 <그림 3-2>는 해법의 구조를 보여준다. P(t)는 세대 t에서의 모집단을 나타낸다.



```

begin
  시도횟수(t) = 0
  P(t)의 초기화(초기모집단(작업 스케줄) 생성)
  P(t)의 적응도 평가(타부 서치 이용)
while(종료조건이 만족될 때까지) do
  begin
    t = t + 1
    P(t-1)로부터 P(t)를 선별
    P(t)의 유전연산(교차와 돌연변이)
    P(t)의 적응도 평가(타부 서치 이용)
  end
end
end
  
```

<그림 3-2> 해법의 구조

해법이 모두 종료된 후에 계산과정에서 나타났던 해들 중에 작업시간을 최소로 하

는 것을 최종적인 해로 결정한다.

3.3.2 유전 알고리즘

<개체 표현방법>

유전 알고리즘의 개체 표현방법은 작업해야 할 컨테이너를 임의의 순서대로 배치하는 방식으로 한다. 배치된 순서대로 작업 스케줄을 설정하고, 임의로 YT의 수에 맞게 작업을 아래 <그림 3-3>과 같이 표현한다. 작업의 수를 12개, YT를 3대라고 가정하고 작업 스케줄은 {3, 2, 1, 4, 10, 6, 12, 8, 9, 5, 11, 7}로 이루어져 있다고 한다. 번호는 각 작업을 뜻한다.

$$P_1 = \begin{bmatrix} YT1의\ 작업순서 \\ YT2의\ 작업순서 \\ YT3의\ 작업순서 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3, & 4, & 12, & 5 \\ 2, & 10, & 8, & 11 \\ 1, & 6, & 9, & 7 \end{bmatrix}$$

<그림 3-3> 잠재해의 표현

위와 같이 표현된 셋을 하나의 개체라고 하고 개체의 수를 결정한다. 개체의 수를 많게 할 경우 여러 경우의 작업 할당이 이루어질 수 있으므로 탐색구간이 넓다는 장점이 있지만 개체 수에 따라서 계산시간이 기하급수적으로 늘 수도 있으므로 빠른 시간 내에 만족할 만한 결과를 도출 할 수 있는 크기로 결정해야 한다.

<적응도 평가 및 선별>

적응도는 자연개체의 생존능력을 나타낸다. 적응도 평가가 목적함수에 가깝게 나타날수록 다음 세대로 유전될 수 있는 확률이 높아진다. 본 논문에서는 모형의 목적함수와 적응도 평가함수를 동일하게 전체 작업완료시간의 최소화로 하였다.

선별은 현 세대의 모집단으로부터 다음 세대에 생존할 개체를 선택하는 과정이다. 적응도 평가에 나온 값에 따라 선별 작업이 이루어진다. 본 논문에서는 확률바퀴방법

을 응용하여 선별을 하였다. 확률바퀴방법은 적응도의 값에 비례해서 선별 확률이 정의되기 때문에 선별 과정에서 가장 일반적으로 사용 되는 방법이다. 보통의 확률바퀴 방법의 경우 도출된 적응도의 값에 따라서 선별확률이 결정된다. 하지만 모집단을 이루는 개체들의 적응도 값들 간에 차이가 크지 않을 경우 선별 확률이 좋은 해와 좋지 않은 해들 간에 차이가 크게 보이지 않게 되어 좋은 해의 유전 확률을 높이지 못하는 경우가 발생한다. 그렇기 때문에 본 논문에서는 적응도 값이 좋은 해의 선별확률을 높이기 위해서 평가값을 (적응도 값들 중 최대값 - 현재 개체의 적응도) × ((적응도 값들 중 최대값 - 현재 개체의 적응도) / (적응도 값들 중 최대값 - 적응도 값들 중 최소값))과 같이 표현하였다. 선별확률 계산 방법을 아래 <표 3-1>과 같이 예를 들어 보았다.

<표 3-1> 선별확률 계산

개체	적응도	목적함수 값 변화	선별확률 계산	선별확률
P1	15	$(30-15) \times (15/15)$	15	$15 / (70/3)$ 0.64286
P2	20	$(30-20) \times (10/15)$	20/3	$(20/3) / (70/3)$ 0.28571
P3	25	$(30-25) \times (5/15)$	5/3	$(5/3) / (70/3)$ 0.07143
P4	30	$(30-30) \times (0/15)$	0	$0 / (70/3)$ 0
합계			70/3	

<유전 연산자>

유전연산자는 교차와 돌연변이로 나누어진다. 교차는 두 부모가 갖는 유전자를 조합하여 자손을 생산하는 과정이고, 돌연변이는 개체에 새로운 유전자가 생성되는 것으로, 한 개체에서 아주 작은 수의 유전자를 임의로 변화시키는 과정이다.

가. 교차(Crossover)

본 논문에서는 교차방법으로 순서교차(Order crossover)를 이용하였다. 이 방법은 개체에서 임의의 두 절단점을 지정하여 중간부분은 그대로 자손 개체로 상속하고 나머지 부분은 다른 부모의 순서에 따르게 하는 방법이다. 절단점을 기준으로 부모 개

체의 상대적인 작업 순서를 보존하여 다음 자손을 생산하게 된다. 교차방법의 절차는 아래와 같다. P는 부모개체 O는 자손개체를 나타낸다.

Step 1. 교차가 이루어질 두 개체를 선정

$$\begin{aligned} \text{예) } P_1 &= (1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9) \\ P_2 &= (3 \ 1 \ 7 \ 8 \ 4 \ 6 \ 9 \ 5 \ 2) \end{aligned}$$

Step 2. 임의의 절단지점을 설정하고 절단된 부분부터 순서대로 나열

$$\begin{aligned} P_1 &= (1 \ 2 \ 3 \ | \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ | \ 8 \ 9) \quad \rightarrow \quad P_1' = (8 \ 9 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7) \\ P_2 &= (3 \ 1 \ 7 \ | \ 8 \ 4 \ 6 \ 9 \ | \ 5 \ 2) \quad \rightarrow \quad P_2' = (5 \ 2 \ 3 \ 1 \ 7 \ 8 \ 4 \ 6 \ 9) \end{aligned}$$

Step 3. P_1, P_2 에서 절단된 부분에 속하는 숫자와 중복되는 숫자를 삭제

$$\begin{aligned} P_1' &= (8 \ 9 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7) \quad \rightarrow \quad P_1'' = (1 \ 2 \ 3 \ 5 \ 7) \\ P_2' &= (5 \ 2 \ 3 \ 1 \ 7 \ 8 \ 4 \ 6 \ 9) \quad \rightarrow \quad P_2'' = (2 \ 3 \ 1 \ 8 \ 9) \end{aligned}$$

Step 4. 자손 개체 O_1, O_2 를 절단된 부분만 그대로 유전시켜서 생성

$$\begin{aligned} O_1 &= (X \ X \ X \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ X \ X) \\ O_2 &= (X \ X \ X \ 8 \ 4 \ 6 \ 9 \ X \ X) \end{aligned}$$

Step 5. 자손 개체에 Step 3에서 도출된 P_1'', P_2'' 를 절단된 뒤부터 차례대로 삽입하고 원래 부모 개체인 P_1, P_2 를 자손 개체로 대체

$$\begin{aligned} P_2'' &= (2 \ 3 \ 1 \ 8 \ 9) \quad \rightarrow \quad O_1 = (1 \ 8 \ 9 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 2 \ 3) \quad \rightarrow \quad P_1 \\ P_1'' &= (1 \ 2 \ 3 \ 5 \ 7) \quad \rightarrow \quad O_2 = (3 \ 5 \ 7 \ 8 \ 4 \ 6 \ 9 \ 1 \ 2) \quad \rightarrow \quad P_2 \end{aligned}$$

교차는 해법 적용시 처음에 설정하는 교차율에 의해서 교차대상을 선정하게 되고, 순서교차를 위해서 두 개씩 쌍을 만들어서 교차를 실행한다. 교차가 된 자손 개체는 교차대상이었던 부모 개체와 교체되어 새로운 모집단을 생성하게 된다.

나. 돌연변이(Mutation)

돌연변이연산자는 다양한 해 공간을 탐색하는 능력이 있으므로 평균해보다는 하나의 좋은 해를 찾는 경우 교차연산자보다 알고리즘의 성능에 더 결정적인 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 돌연변이 방법으로 역순방법(Inversion)을 사용하

였다. 역순방법은 부모에서 두 개의 절단점을 임의로 선택하고 절단점 사이의 인자들을 역순으로 하여 자손을 생산하는 방법이다. 이 방법은 부모 개체의 순서를 어느 정도 인정하면서 절단된 부분의 작업을 모두 역순으로 바꾸어 돌연변이연산자 방법 중에 비교적 많은 변화를 일으켜 다양한 해 공간 탐색이 가능하다. 역순 돌연변이연산자의 절차는 아래와 같다.

Step 1. 임의로 돌연변이가 이루어질 개체의 두 절단점을 결정

예) $P_1 = (1\ 2\ 3\ | 4\ 5\ 6\ 7\ | 8\ 9)$

Step 2. 절단된 부분 사이에 있는 유전자의 순서를 역순으로 함

$P_1' = (1\ 2\ 3\ | 7\ 6\ 5\ 4\ | 8\ 9) \rightarrow P_1$

돌연변이는 해법 적용시 처음에 설정하는 돌연변이율에 의해서 돌연변이 대상 개체를 선정하고 돌연변이연산자를 적용한다. 돌연변이가 된 자손 개체는 돌연변이 대상이었던 부모 개체와 교체되어 새로운 모집단을 생성하게 된다.

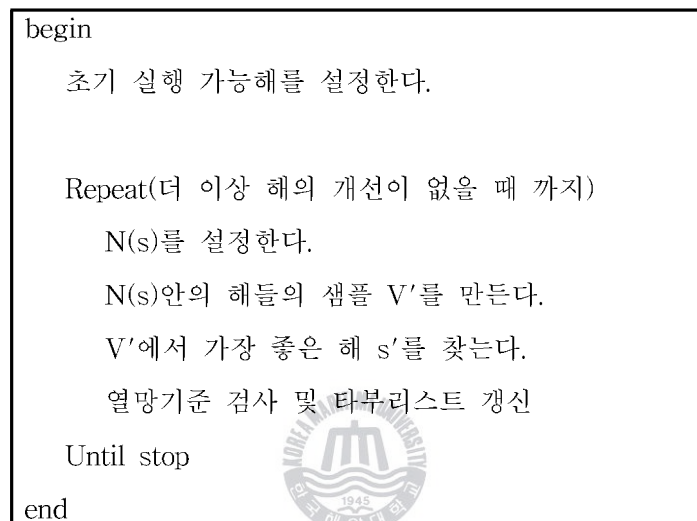
<종료 조건>

돌연변이연산자 단계까지 끝난 후 새롭게 형성된 모집단의 적응도를 평가한다. 그리고 나서 종료 조건에 만족하는지 여부를 판단하고, 종료 조건에 만족하지 않을시 도출된 새로운 모집단으로 교차 단계부터 다시 적용하여 최종 종료 조건에 만족 할 때까지 계속 반복하고, 종료 조건에 만족 할 시에 종료한다. 종료 후 현재까지 나왔던 결과 중에 적응도의 값이 가장 좋았던 작업 스케줄을 최종 스케줄로 선정한다.

3.3.3 타부 서치(적응도 평가)

도출된 선박 적하 스케줄을 기반으로 하여 총 작업시간을 가능한 짧게 할 수 있도록 작업을 YT에 할당 하는 해법으로 타부 서치를 이용하였다. 스케줄이 확정된 상태

에서 YT에 작업을 할당하는 경우 이웃해의 탐색공간이 크지 않고 제한적이다. 그렇기 때문에 타부 서치의 특징 중에서 다양화와 강화전략 없이 짧은 시간에 만족할만한 해를 도출할 수 있었다. 아래 <그림 3-4>는 타부 서치의 구조를 설명한 것이다. $N(s)$ 는 이웃해 탐색 공간을 나타낸다.



<그림 3-4> 타부 서치의 구조

<이웃해 탐색 공간 결정 : $N(s)$ >

$N(s)$ 는 타부 서치의 탐색공간의 크기로서 작게 결정할 경우 탐색시간이 빠르지만 더 좋은 해를 얻을 가능성이 낮아지고, 크게 결정할 경우 더 좋은 해를 얻을 가능성이 높지만 탐색하는데 많은 노력이 들어간다. 따라서 $N(s)$ 의 크기를 결정하는 것은 타부 서치의 계산 시간과 정확성에 중요한 요소라고 할 수 있다.

본 논문에서는 $N(s)$ 의 크기를 아래와 같은 방법으로 결정하였다. 텐덤 작업이 발생 가능한 경우는 스케줄상 연속한 두 개의 작업만 가능하다. (1 : 선정된 작업, 1 2 : 텐덤 작업)

Step 1. 작업을 스케줄에 따라 다음과 같이 각 YT에 할당한다. (YT는 3대 작업의 수는 9개라고 가정한다.)

예) YT1 = (1 4 7)
 YT2 = (2 5 8)
 YT3 = (3 6 9)

Step 2. 스케줄에 따라 하나의 작업을 선정한다.

예) YT1 = (1 4 7)
 YT2 = (2 5 8)
 YT3 = (3 6 9)

Step 3. 선정된 작업이 스케줄상 이동할 수 있는 모든 위치와 각 위치에서 작업가능한 모든 경우를 N(s)로 결정한다.

예) 아래와 같이 모든 작업 가능한 경우를 N(s)로 한다.

YT1 = (1 4 7) YT2 = (2 5 8) YT3 = (3 6 9)	작업 가능	YT1 = (<u>1</u> 4 7) YT2 = (<u>2</u> 5 8) YT3 = (3 6 9)	작업 가능
YT1 = (4 7) YT2 = (1 2 5 8) YT3 = (3 6 9)	작업 가능	YT1 = (4 7) YT2 = (<u>1</u> <u>2</u> 5 8) YT3 = (3 6 9)	작업 불가능
YT1 = (4 7) YT2 = (2 5 8) YT3 = (1 3 6 9)	작업 가능	YT1 = (4 7) YT2 = (<u>2</u> 5 8) YT3 = (<u>1</u> 3 6 9)	작업 가능

위의 절차에서 N(s)에서 작업 불가능이 일어나는 경우를 살펴보면 하나의 YT에서 텐덤 작업을 요구할 때나, 작업 순서상 텐덤이 될 수 없는 경우, 선박 구조상 텐덤이 이루어 질 수 없는 경우가 있을 수 있고, 이러한 경우는 평가에서 제외된다. 또 선정된 작업의 이동은 작업 스케줄의 순서상 뒤바뀌지 않는 범위 내에서만 이동할 수 있다. (YT2 = (2 1 5 8) → 불가능)

<해의 탐색 절차>

초기해를 시작으로 하여 N(s)의 탐색을 계속 하게 된다. N(s)에서 도출된 값들 중

가장 좋은 값이 현재까지 도출된 가장 좋은 해보다 더 좋으면 작업 할당 스케줄, 현재까지의 최적해, 타부리스트를 갱신한다. 작업이 갱신되었거나, 현재까지 도출된 가장 좋은 해보다 좋은 경우가 없으면 다음 $N(s)$ 로 이동하여 탐색을 계속하게 된다. 탐색의 종료는 모든 $N(s)$ 의 작업가능 경우를 탐색한 후에도 더 이상 현재까지 도출된 가장 좋은 해가 갱신이 되지 않을 경우 종료한다. 탐색의 종료 후 가장 좋은 해를 도출 하는 스케줄을 이번 탐색의 최적 작업 스케줄로 선정을 한다.

3.4 실험 및 분석

실험은 두 가지로 나누어 실시하였다. 먼저 계량적 모형에 따른 최적해와 본 논문에서 제시한 해법의 해를 비교분석 해보았다. 또 여러 작업 셋을 생성하여 해법에 적용하고 결과를 도출하고 분석하였다.

먼저 계량적 모형에 의한 최적해와 해법의 결과를 비교해 보았다. 최적해는 Visual Basic으로 코딩하고, CPLEX로 값을 도출하였다. 계량적 모형에 해당하는 부분은 해법에서 적응도 값을 평가하는 부분으로 타부 서치에 의해 실행된다. 해법은 CPU Intel Core 2 Duo E6400 2.13GHz 프로세서, RAM 2GB 컴퓨터에서 Java언어로 코딩하여 실행하였다. 작업은 20' 컨테이너 24개, 32개, 40개로 각각 10회 실험하고 비교하였다. 최적해와 해법을 통해서 도출된 결과는 아래 <표 3-2>와 같다.

결과를 살펴보면 최적해와 해법간의 작업시간 차이는 평균 4.9~6.5%로 작은 차이를 보였는데, 해법의 계산시간을 고려하면 해법이 만족할만한 결과를 빠른 시간 내에 도출하였다고 할 수 있다. 작업량에 따른 결과를 보면 작업량이 많아질수록 점차적으로 결과 값의 차이가 적어진다는 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 문제가 작을수록 해의 탐색 범위가 좁아져서 해의 개선 여부를 찾지 못하고 조기에 종료되기 때문으로 해석된다. 해의 결과 차이와는 반대로 계산시간의 경우 작업량에 따라 급격하게 차이가 나는 것을 알 수 있다. 해법의 경우 1초 이내에 결과를 찾아내는 것에 반해서, 최적해의 경우는 작업량에 따라 최대 1000배 이상 차이를 나타냈다. 본 실험은 전체 해법에서 서브 알고리즘에 해당하는 부분으로 해법 전체를 푸는 경우 수백, 수천 번 이상 서브 알고리즘이 수행된다. 이 말은 서브 알고리즘의 계산시간이 해법 전체의 계

산시간에 큰 영향을 끼친다는 것을 말해준다. 그러므로 계산시간을 고려하여 적정 시간 내에 효율적인 답을 찾아내는 것이 중요하다. 작업량이 적은 경우 계산시간이 허용하는 범위 내에서 최적해를 이용하는 것도 생각해 볼 수 있고, 작업량이 많을 경우에는 해법을 이용하여 해를 도출하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

<표 3-2> 최적해와 해법의 결과

작업	번호	최적해(초)	계산시간(초)	해법결과(초)	계산시간(초)	결과차이(%)
24	1	1583	0.64	1625	0.01	2.653
	2	1526	0.28	1631	0.01	6.881
	3	1842	1.03	1981	0.01	7.546
	4	1478	0.67	1560	0.01	5.548
	5	1243	0.19	1394	0.01	12.148
	6	1622	0.36	1755	0.01	8.200
	7	1682	0.44	1734	0.01	3.092
	8	1631	0.64	1792	0.01	9.871
	9	1456	0.28	1456	0.01	0
	10	1527	0.20	1660	0.01	8.710
	평균	1559	0.47	1658.8	0.01	6.465
32	1	1897	2.06	2061	0.01	8.645
	2	1991	2.07	2069	0.01	3.918
	3	2048	2.13	2128	0.01	3.06
	4	2048	2.11	2111	0.01	3.076
	5	2027	2.10	2098	0.01	3.503
	6	2168	2.37	2370	0.01	9.317
	7	1862	2.07	2073	0.01	11.332
	8	1908	1.94	1940	0.01	1.677
	9	1940	2.10	2104	0.01	8.008
	10	1883	2.02	2021	0.01	7.329
	평균	1978	2.10	2097.5	0.01	6.071
40	1	2353	887.78	2574	0.01	9.392
	2	2499	1090.17	2617	0.01	4.722
	3	2306	879.73	2402	0.01	4.944
	4	2491	847.17	2519	0.01	1.124
	5	2327	1434.77	2417	0.01	3.868
	6	2566	2023.99	2688	0.01	4.754
	7	2335	933.70	2458	0.01	5.268
	8	2514	2287.91	2682	0.01	6.683
	9	2673	5655.38	2842	0.01	6.322
	10	2031	7140.10	2087	0.01	2.757
	평균	2409	2318.07	2530	0.01	4.983

본 실험에서 사용한 모형은 본 논문에서와 같이 전체 해법의 서브 알고리즘으로 적용되어 사용할 수도 있지만, 실무적으로 터미널에서 YT에 작업할당 모형으로도 충분히 사용가능하다고 할 수 있다. 신항의 경우 YT를 폴링시스템으로 운영하고 있는데, 폴링시스템은 작업할당이 미리 되어 있지 않고, 작업 지시가 떨어지면 그 시점에 가장 효율적으로 작업을 처리할 수 있는 YT에 작업을 할당하는 방식이다. 이러한 상황에서 본 논문에서 제시한 모형을 적용하면 작업해야할 스케줄을 해법의 계산시간을 고려하여 적정단위로 끊어서 실시간으로 YT에 작업을 할당한다. 그러면 지금 현재의 시점만을 고려하는 것이 아니라 앞으로 이루어질 다른 작업도 어느 정도 고려하게 되어 더욱 효율적인 YT 운영이 가능할 것이라고 생각한다.

두 번째 실험으로 여러 경우의 작업 셋을 생성하여 해법에 적용하여 실험하고 분석하였다. 먼저 유전 알고리즘에서 계산시간에 따른 효율적인 해를 도출하는 모집단의 크기, 유전 세대 수, 교차율, 돌연변이율을 알아보기 위해서 아래 <표 3-3>과 같은 작업 셋으로 실험을 여러번 반복실행한 후에 해 값을 도출하여 비교해 보았다.

<표 3-3> 실험 데이터 I

작업 수(20')	모집단 크기	세대 수	교차율	돌연변이율
24, 48	20, 30, 50	20, 30, 50	0.5, 0.4, 0.3, 0.2	0.2, 0.1, 0.05

실험 결과 모집단의 수, 세대 수, 교차율, 돌연변이율에 따른 해의 값은 아래 <표 3-4>, <표 3-5>, <표 3-6>, <표 3-7>과 같이, 계산시간은 <표 3-8>과 같이 도출되었다.

<표 3-4> 모집단의 크기에 따른 결과

작업 수	모집단 크기	결과(평균)	작업 수	모집단 크기	결과(평균)
24	20	1644.78	48	20	2949.61
	30	1629.44		30	2933.61
	50	1614.39		50	2910.72

<표 3-5> 세대 수에 따른 결과

작업 수	세대 수	결과(평균)	작업 수	세대 수	결과(평균)
24	20	1644.05	48	20	2955.67
	30	1633.94		30	2937.06
	50	1610.61		50	2901.22

<표 3-6> 교차율에 따른 결과

작업 수	교차율	결과(평균)	작업 수	교차율	결과(평균)
24	0.5	1630.59	48	0.5	2930.15
	0.4	1626.30		0.4	2935.04
	0.3	1625.56		0.3	2924.96
	0.2	1635.70		0.2	2935.11

<표 3-7> 돌연변이율에 따른 결과

작업 수	돌연변이율	결과(평균)	작업 수	돌연변이율	결과(평균)
24	0.05	1641.00	48	0.05	2940.56
	0.1	1628.83		0.1	2935.72
	0.2	1618.78		0.2	2917.67

<표 3-8> 계산시간

작업 수	모집단	세대 수	시간(초)	작업 수	모집단	세대 수	시간(초)
24	20	20	1.724	48	20	20	14.943
		30	2.433			30	27.109
		50	4.097			50	38.437
	30	20	3.551		30	20	24.495
		30	3.892			30	34.454
		50	6.103			50	55.020
	50	20	4.224		50	20	40.706
		30	6.475			30	58.127
		50	11.213			50	99.885

실험 결과를 보면 모집단과 세대 수는 클수록 좋은 결과 값을 도출하지만, 실험결과 도출된 해의 값은 2% 내외로 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 그에 반해 계산 시간을 보면 모집단의 수와 세대 수는 계산시간에 정비례하지만, 작업의 수가 2배로 늘어날 경우 많게는 10배가량 시간이 증가하였다. 그렇기 때문에 만약 그룹 당 작업의 수가 많을 경우에는 계산시간을 고려하여 모집단의 수와 세대 수를 효율적으로 조절하는 것이 필요하다. 또, 작업의 수가 적을 경우에는 계산시간이 짧은 편이므로 모집단의 수와 세대 수를 크게 해서 되도록 좋은 결과를 도출하는 것이 좋다. 교차율과 돌연변이율은 결과 값의 차이가 크지 않았지만 0.3, 0.2인 경우가 대체로 가장 좋은 결과를 나타내었다.

모집단 수 50, 세대 수 50, 교차율 0.3, 돌연변이율을 0.2로 설정을 하고 여러 데이터 셋을 대상으로 해법을 실험해 보았다. 실험한 데이터 셋은 아래 <표 3-9>와 같은 크기의 문제를 여러개 생성하여 실험해 보았다(QC가 작업을 1회하는데 걸리는 시간은 100초, TC의 경우 70초로 설정하였다). 컨테이너 블록은 안벽에서 가까운 블록에서부터 3번째 블록까지 고려하였고, 작업은 블록에 골고루 흩어져 있다. 실험 후 작업시간, 텐덤 작업율, QC 생산성, 계산시간, YT에 할당되는 작업의 특징 등을 분석하였다. 실험 결과는 아래 <표 3-10>과 같이 도출되었다.

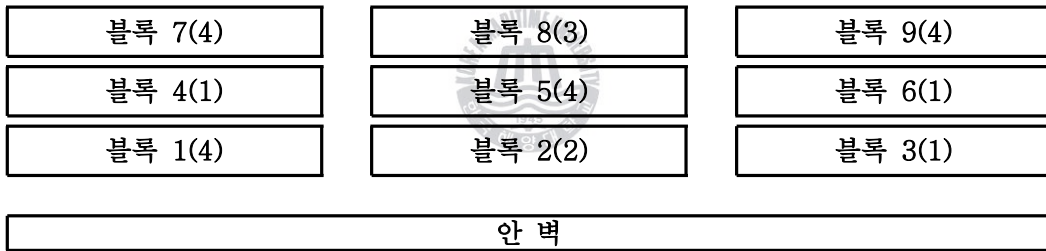
<표 3-9> 실험 데이터II

작업 수(20')	컨테이너 블록 수	TC 수	YT수	모집단 수	세대 수
24, 48, 72, 96	9개	9대	4대	50	50

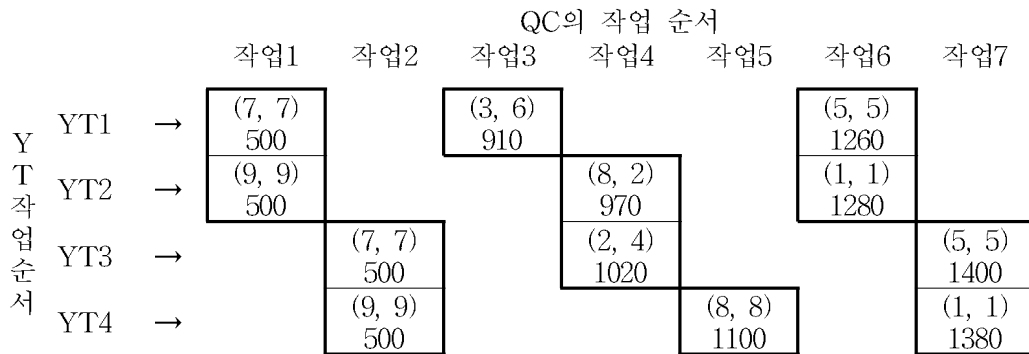
<표 3-10> 실험 결과

작업 수(20')	작업시간(초)	텐덤율(%)	QC 생산성(TEU/시간)	계산시간(초)
24	1583	43.33	54.58	10.831
48	2872	43.33	60.17	95.784
72	4486	34.44	57.78	317.975
96	5718	34.17	60.44	1001.165

실험 결과를 보면 작업 수에 따른 모든 결과가 QC 생산성이 50이상, 그중에서 텀덤 작업율이 30% 이상인 것으로 양호한 결과를 나타냈다. 세부적으로 YT에 작업이 할당된 형태를 보면 대체로 같은 블록이나 인접한 블록에서 작업을 할당받는 경우가 많았고, 텀덤이 일어나는 경우는 YT가 컨테이너를 싣고 QC의 작업지점에 도착하는 시간이 비슷한 경우에 많이 발생하였다. 이를 확인하기 위해서 실험에서 우수한 결과를 도출한 스케줄과 작업을 나타내어 보았다. 아래 <그림 3-5>는 야드에 작업이 분포되어 있는 것을 보여주는 것이고, <그림 3-6>은 YT와 QC의 작업순서를 나타낸 것이다. 작업량이 24개인 것을 대상으로 하였고, <그림 3-5>의 블록 번호 옆 괄호 안에 숫자는 블록에 포함된 작업량을 표시한 것이다(블록 1(4) → 블록 1에 작업량이 4개). <그림 3-6>의 □은 QC의 작업 단위이고, 괄호 안의 숫자는 YT가 방문해서 작업을 받아오는 블록 번호, 그 아래 숫자는 YT가 작업을 싣고 QC에 도착하는 시간이다.



<그림 3-5> 야드에서의 작업 분포



<그림 3-6> YT와 QC의 작업순서

YT가 방문하는 블록을 보면 대체로 동일 블록이나 근접하고 있는 블록에서 컨테이너를 싣는 경우가 많이 나타나고 있는데, 이러한 이유는 하나의 컨테이너를 싣고 다음 컨테이너로 가는 이동시간을 줄여서 전체 작업시간을 줄이기 위한 것으로 해석된다. 텐덤 작업은 스케줄 상 연속하는 두 작업 컨테이너를 싣은 YT가 QC에 도착하는 시간이 비슷한 경우에 발생했다. 텐덤 작업은 한 번에 많은 컨테이너를 처리해서 작업시간을 줄이기 위한 방법이지만, YT간에 도착시간 간격차이가 커지면 QC와 YT의 대기시간이 길어져 오히려 전체 작업시간을 고려했을 때 텐덤 작업을 하지 않는 경우가 더 나은 결과를 가져 올 수도 있다. 그렇기 때문에 텐덤 작업이 일어나기 위해서는 두 대의 YT 간에 어느 정도의 시간차가 허용되는지 알아보기 위해서 스케줄에 따라서 작업이 이루어지는 시간을 분석해 보았다. 분석결과 처음으로 QC에 도착하는 YT의 시간과, 두 번째로 도착하는 YT간의 시간 간격이 QC가 한번 작업하는데 걸리는 시간의 반을 기준으로 그 이하인 경우 이하인 경우 텐덤 작업으로, 이상인 경우 트윈으로 각각 일어나는 것을 알 수 있었다. 위의 <그림 3-6>을 보면 작업3의 작업과, 작업4의 YT2에 해당하는 작업 간에 도착 시간 차이가 60으로 QC 작업시간의 반인 50을 초과하여 텐덤 작업이 이루어지지 않았고, 작업4의 YT2, YT3의 작업은 도착 시간 차이가 50으로 텐덤 작업이 일어나는 것을 확인 할 수 있다.

또, 위의 실험 결과에서 작업해야할 컨테이너들이 같은 블록에 몰려서 적재되어 있으면 YT의 이동시간이 줄어들어서 전체적으로 작업시간을 줄일 수 있었다. 하지만 작업해야할 컨테이너가 집중적으로 한 블록에 모이게 되면 모든 YT가 한 블록에 몰리게 되어 텐덤 작업이 발생하기 어렵게 되고 지연시간도 많이 발생하게 될 것이다. 확인을 위해서 20' 컨테이너 96개를 1~3대의 TC에 집중적으로 모아놓고 몇 회 실험을 해보았다. 먼저 안벽에서 가장 가까운 블록에 있는 한 대의 TC에 모든 작업을 할당하고 실험을 해보았을 때 작업시간이 아무렇게나 흩어 놓은 경우보다 약 20%정도 증가한 것으로 나타났다. 반면에 2대의 TC에 전체작업의 반씩 작업을 할당하고 실험을 해보았을 때는 모두 흩어 놓았을 때보다 약 21% 정도의 작업시간이 단축되었다. 또, 3대의 TC에 전체작업의 3분의 1씩 할당했을 때는 약 16% 정도의 작업시간이 단축되었다. 실험 결과를 보면 TC에서 고정적으로 대기시간이 발생하지 않을 정도로 작업이 몰려 있으면 작업 시간 단축에 크게 영향을 줄 수 있을 것으로 나타났다. 하

지만 본 논문에서는 TC가 QC 한대의 물량만을 상대로 작업하기 때문에 다른 QC작업과의 간섭이 고려되지 않아서 이 같이 좋은 결과가 도출되었다고 할 수 있다. 이러한 결과를 실무에 적용하기 위해서는 다른 작업으로 인하여 작업 간섭이 발생하는 경우에 대한 더 많은 연구가 필요할 것이다.



제 4 장 결 론

최근 늘어나는 물동량에 대비하기 위해서 컨테이너터미널에서는 새로운 시설에 대한 투자가 이루어지고 있다. 최근 국내 컨테이너터미널에서 도입하고 있는 텐덤 크레인인 기존 크레인에 비해서 한 번에 작업할 수 있는 컨테이너 수가 많기 때문에 생산성의 향상을 기대할 수 있다. 하지만 아직까지 도입 된지 얼마 되지 않아 효율적인 운영방안이 거의 없는 실정이다.

본 논문에서는 텐덤 크레인을 고려한 효율적인 적재계획에 대해서 연구하였다. 또, 유전 알고리즘과, 타부 서치를 이용하여 해법을 제시하였고 실험 및 분석을 해보았다. 여러 데이터 셋을 생성하여 실험해본 결과 본 논문에서 제시한 해법이 QC생산성과, 텐덤을 등에서 양호한 결과를 보여주었다. 또, 컨테이너가 야드에 분포되어 있는 형태에 따라 작업시간에 많은 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

하지만 본 논문에서 실험한 결과가 QC 한 대일 경우만 고려하여 다른 QC 작업과의 간섭에 대해서와 추가적으로 터미널에서 발생할 수 있는 다른 제약조건에 대해서 고려하지 못 하였다는 것에 한계점이 있다. 또, 아직까지 국내에서 텐덤 크레인을 사용하는 터미널이 없어서 도출한 결과를 비교할만한 데이터가 없었다.

추후 연구방향으로 추가적으로 고려해야할 제약들을 추가하여 현실문제의 적용에 효과를 볼 수 있는 모형에 대한 연구가 필요하고, 효율적인 적재 문제 뿐 만 아니라, 효율적인 양·적하계획, 적정 장비 대수 산정, 운영방안 등에 관한 연구 등 텐덤 크레인을 고려한 많은 연구가 필요하다고 생각한다.

참 고 문 헌

노진화(2001), "유전 알고리즘을 이용한 컨테이너 선적계획에 관한 연구", 동아대학교 석사학위논문

송장호(2007), "컨테이너터미널에서의 Double cycle 하역기법의 최적 운영방안", 한국해양대학교 석사학위논문

신진용(2003), "휴리스틱 기법을 이용한 컨테이너선의 적재계획에 관한 연구", 부산대학교 석사학위논문

이환욱(2004), "컨테이너 터미널 이송 장비 Pooling 배차 운영 연구", 한국해양대학교 석사학위논문

정창윤(2009), "컨테이너 터미널의 효율적인 선적 작업을 위한 Dual Cycle 계획", 한국해양대학교 석사학위논문

최용석, 하태영(2005), "운영시스템의 도입에 따른 컨테이너터미널의 생산성 향상 평가", 한국항해항만학회지, 29권 1호, pp. 97-104

최용석, 김우선, 하태영(2006), "컨테이너터미널 리모델링 기술검토 : 부산항 사례", 한국항해항만학회지, 30권 6호, pp. 499-508

Anna Sciomachen, Elena Tanfani(2007), "A 3D-BPP approach for optimising stowage plans and terminal productivity", European Journal of Operational Research, 183 (3), pp. 1433-1446

Daniela Ambrosino, Anna Sciomachen, Elena Tanfani(2004), "Stowing a containership - the master bay plan problem", *Transportation Research Part A*, No 38, pp. 81-99

Daniela Ambrosino, Anna Sciomachen, Elena Tanfani(2006), "A decomposition heuristics for the container ship stowage problem", *Journal of Heuristics*, No 12, pp. 211-233

Gifford L. Martin JR, SabhaH U. Randhawa, Edward D. Mcdowell(1988), "Computerized container-ship load planning - a methodology and evaluation", *Computers Industrial Engineering*, Vol. 14, No. 4, pp. 429-440

Goodchild, A.V., Daganzo, C.F.(2007), "Double-Cycling Strategies for Container Ships and Their Effect on Ship Loading and Unloading Operations", *Transportation Science*, Vol. 40, No. 4, pp. 473-483

Kap Hwan Kim, Jin Soo Kang, Kwang Ryel Ryu(2004), "A beam search algorithm for the load sequencing of outbound containers in port container terminals", *OR Spectrun*, No. 26, pp. 93-116

감사의 글

가장 먼저 지난 9년 동안 저에게 아낌없는 지도와 가르침을 주신 신재영교수님께 진심으로 깊은 감사드립니다. 부족한 저에게 교수님의 진심어린 관심과 격려는 제가 한층 더 성숙해지는데 큰 밑거름이 되었습니다. 다시 한번 교수님께 감사의 말씀 전합니다. 그리고 저희 과의 큰 기둥이자 물류의 큰 별이신 이철영교수님, 항상 웃으시며 진심으로 학생들을 아껴주시고 사랑하시는 광규석교수님, 물류시스템공학과와 큰 발전을 위해서 노력해주신 남기찬교수님, 무뚝뚝해 보이지만 다른 분들 못지않게 학생들에게 큰 관심 가져주신 신창훈교수님,



2009. 7. 2.