



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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

컨테이너 터미널의 효율적인 선적 작업을 위한  
Dual Cycle 계획

Dual Cycle Plan for Efficient Ship Loading and Unloading  
in Container Terminals



指導教授 申宰榮

2008 年 12 月

韓國海洋大學校 大學院

東北亞物流시스템學科

鄭昌允

# 목 차

## ABSTRACT

제 1 장 서 론 .....	1
1.1 연구의 배경 및 필요성 .....	1
1.2 관련 문헌 고찰 .....	4
1.3 논문의 구성 .....	5
제 2 장 개념과 모형 .....	6
2.1 듀얼 사이클의 개념 .....	6
2.2 듀얼 사이클의 적용 .....	8
1) 항만 운영 시스템 .....	8
2) 듀얼 사이클 적용 .....	8
2.3 문제의 설정 .....	10
2.4 수리적 모형 .....	11
1) Notation(표기법) .....	11
2) 모형 .....	12
제 3 장 문제의 해법 연구 .....	15
3.1 문제의 해법 .....	15
1) 유전 알고리즘 .....	15
2) 타부 서치 알고리즘 .....	22
3.2 실험 및 분석 .....	24

1) 유전 알고리즘 실험 결과 .....	2
2) 타부 서치 실험 결과 .....	3
3) 유전 알고리즘과 타부 서치 알고리즘의 비교 .....	2
 제 4 장 결 론 .....	 3
 참고 문헌 .....	 3



## 표 목 차

<표 1-1> 주요 선사별 9,000TEU급 이상 컨테이너선 발주 현황 .....	2
<표 3-1> 각 Hatch 별 작업 물량 .....	4.2
<표 3-2> 생성된 문제 .....	6.2
<표 3-3> 유전 알고리즘 구성 .....	7.2
<표 3-4> GA1 결과 .....	7.2
<표 3-5> GA2 결과 .....	8.2
<표 3-6> GA3 결과 .....	8.2
<표 3-7> GA3_1의 상세결과 .....	10.3
<표 3-8> 타부 서치 실험 결과 .....	13



## 그림 목 차

<그림 2-1> 듀얼 사이클 개념 .....	6
<그림 2-2> Y/T 운영방식의 변화 .....	7
<그림 2-3> 컨테이너 터미널 본선계획 순서 .....	8
<그림 2-4> 일반적인 Q/C 배정 및 작업 순서 .....	9
<그림 2-5> 듀얼 사이클 계산 .....	10
<그림 3-1> 유전자 구조 .....	61
<그림 3-2> 알고리즘 구조 .....	71
<그림 3-3> 교차 방법 .....	81
<그림 3-4> 돌연변이 방법 .....	91
<그림 3-5> 작업 교정 .....	102
<그림 3-6> 타부 서치 알고리즘 .....	22
<그림 3-7> 이웃해 탐색 과정과 타부 리스트 갱신 .....	32
<그림 3-8> 다양화 전략에 의한 새로운 해 .....	42
<그림 3-9> 유전 알고리즘 실험 예제 .....	52
<그림 3-10> 유전 알고리즘의 수행결과 .....	92
<그림 3-11> GA1_3의 크레인 대수 별 수행결과 .....	103
<그림 3-12> 타부 서치 알고리즘 수행결과 .....	23
<그림 3-13> 알고리즘 결과 비교 .....	33

# Dual Cycle Plan for Efficient Ship Loading and Unloading in Container Terminals

Chang Yun Chung

Department of Logistics Engineering  
Graduate School of Korea Maritime University



## **ABSTRACT**

At container terminals, a major measurement of productivity can be work-efficiency in quay-side. At an apron, containers are loaded onto the ship and unloaded to the apron by quay-crane. For improving the productivity of quay cranes, the more efficient Y/T operation method is necessary in container terminals. Between quay-side and yard area, current transferring method is single-cycling which doesn't start loading unless it finishes unloading. Dual-cycling is a technique that can be used to improve the productivity of quay-side and utility of yard tractor by ship loading and

unloading simultaneously. Using the dual-cycling at terminals only necessitates an operational change without purchasing extra equipment. Exactly, Y/T operation method has to be changed the dedicate system to pooling system. This paper presents an method of efficient ship loading and unloading plan in container terminals which use the dual-cycling. We propose genetic and tabu search algorithm for this problem.





# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 필요성

최근 늘어나는 국제 교역에서 컨테이너 화물이 차지하는 비중은 매우 높다. 화물 운송에서 컨테이너가 처음 도입된 이후 그 탁월한 편리성으로 인해 컨테이너 화물은 꾸준히 증가해 왔다. 이러한 컨테이너 운송 물량의 증가는 선사들로 하여금 규모의 경제를 통한 비용 절감을 요구하게 되었고, 선사들은 선박을 대형화하고 기항지를 축소하는 등의 전략을 수립하게 되었다.

초대형선의 등장은 항만간의 경쟁을 부추기고 있다. 9,000TEU가 넘는 신규 선박들의 운항으로 인해 화물이 특정 항만으로 집중되는 현상이 나타나게 되었다. 선사들은 기항지를 축소하고 선사 간 동맹을 통해 해운 시장을 변화시키고 있다. 바로 이러한 해운 환경의 변화로 인해 항만간의 경쟁이 치열해 진다. 부산항의 경우 중국의 상해, 선전, 홍콩 항만 등 주변의 거대 항만들과 경쟁해야 하는 실정이다. 특히 중국 양산 신항만의 등장으로 부산항의 환적화물 증가율이 감소 추세에 있다. 이러한 항만 경쟁 속에서 살아남기 위해서는 높은 항만서비스, 항만 효율성 및 생산성이 요구된다. <표 1-1>을 살펴보면, 앞으로 9,000 TEU 이상의 선박들이 주력 선대가 될 것임을 알 수 있다. 부산항의 경우에 신항의 건설과 함께 초대형 선박에 어울리는 서비스가 시급한 실정이다.

선박의 대형화는 컨테이너 터미널의 하역능력 향상을 요구하고 있고, 터미널은 그 추세를 따라가기 위해서 새로운 장비와 새로운 운영시스템을 개발하기 위해 노력하고 있다. 새로운 장비를 설치하는 문제는 터미널에 매우 큰 재정적 부담을 준다. 하지만 새로운 개념의 운영시스템의 개발은 그만한 비용을 들이지 않고 하역 생산성을 증가시킬 수 있다. 따라서 컨테이너 터미널에서는 신규 장비 도입 보다는 운영 기법의 발전을 통한 생산성 향상 방안을 우선적으로 검토하고 있다.

<표 1-1> 주요 선사별 9,000 TEU 급 이상 컨테이너선 발주 현황

선사	선형	척수	조선소	준공 및 인도기시
Maersk Line	12,000	14	오텐세	07~11년
	9,100	4	삼성중공업	07~08년
MSC	9,200	13	삼성중공업	05~07년
	9,600	8		09년
CMA CGM	9,200	4	현대중공업	05~06년
	9,700	4	대우조선해양	08~09년
	9,700	4	교섭중	09년
Evergreen	9,700	4	현대중공업	08년
COSCO	9,400	9	현대중공업	06~08년
	10,000	4	NACKS	08~09년
CSCL	9,600	8	삼성중공업	06~07년
ZIM	9,700	4	현대중공업	09년

자료 : 일본 해사신문(2006)

컨테이너 터미널에서 안벽 작업의 효율성은 중요한 생산성 지표중 하나다. 터미널에서는 안벽 작업의 효율성을 높여서 타 터미널과의 경쟁에서 우위를 확보하고자 한다. 왜냐하면 선사가 기항 항만을 결정하는 가장 중요한 기준 중 하나가 안벽 생산성과 밀접한 관련이 있는 선박재항시간이기 때문이다 (Ambrosino et al., 2004). 그런데 최근 선형의 크기 증가로 인해 더 이상 기존의 운영 방식으로는 선사의 요구를 충족시키기 어렵게 되었다.

터미널 안벽에 설치된 안벽 크레인(Quay Crane, Q/C)은 접안한 선박의 컨테이너를 양하하여 야드 트랙터(Yard Tractor, Y/T)에 전해주고, 야드 트랙터로 장치장에서 이송되어 온 컨테이너를 적하하는 작업을 수행한다. 이때 보통 양하가 모두 이루어진 다음 적하가 이루어지게 되는데 이러한 작업 방식에서는 안벽과 야드 사이의 Y/T 운영이 싱글 사이클(Single Cycle)로 이루어진다. 싱글 사이클 운영은 한번의 Y/T 왕복 운행 시 하나의 컨테이너(양하 컨테이너 또는 적하 컨테이너)를 이송한다. 이러한 운영방식에서는 Y/T의 운행구간 중 절반의

구간에서 공차운행이 발생한다. 이에 반해, 듀얼 사이클(Dual Cycle) 방식은 서로 다른 Q/C의 양하와 적하작업을 하나의 Y/T에 할당하는 방식으로, Y/T의 왕복운행 중 공차운행을 줄일 수 있는 방법이다.

컨테이너 터미널에서 듀얼 사이클 방식을 사용할 때 이점은 기존의 장비를 그대로 활용하면서 생산성은 더 높일 수 있다는 것이다. 만약 기존의 운영방식을 사용하는 터미널에 9,000 TEU 이상 급의 초대형 선박이 접안하게 되면, 다수의 Q/C와 Y/T를 동원하여 최대한 빠르게 작업을 해야 싱글 사이클의 비효율성을 극복하고, 선사가 요구하는 재항시간을 맞출 수 있을 것이다. 몇몇의 터미널에서는 작업 생산성을 높일 수 있는 새로운 개념의 크레인과 이송장비를 추가로 구입하여야 할 것이다. 하지만 야드와 안벽사이에서 이송장비의 운영방식을 기존의 방식인 싱글 사이클에서 듀얼 사이클로 바꾼다면, 양적하 작업을 동시에 수행하여 크레인의 생산성 및 Y/T의 이용률을 높일 수 있게 된다.

듀얼 사이클과 같은 새로운 운영 기술은 정보 기술과 함께 발전해 나가야 한다. 지금까지 터미널의 생산성을 높이기 위한 많은 연구 속에서 다양한 방법이 고안되었지만, 정보 기술의 부재로 인해서 실제로 적용되지 못했던 경우도 많았다. 그렇기 때문에 새로운 장비나 새로운 운영 방식은 그에 맞는 정보 기술이 뒷받침 되어야 한다. 최근에는 정보 기술의 발전으로 인하여 RFID 태그를 이용한 게이트 시스템, 웹 기반의 계획 시스템, RTLS(Real Time Location System)를 이용한 Y/T 풀링(pooling), 실시간 모니터링과 고성능의 하드웨어를 이용한 자동화 시스템 등이 항만에 적용되었고, 이로 인하여 항만의 복잡한 여러 자원들을 효율적으로 관리할 수 있게 되었다. 또한 항만 시스템 개발자들은 새로운 정보기술과 운영방식을 접목하여 표준화된 시스템을 개발하기 위해서 노력하고 있다. 이러한 노력으로 항만에 새로운 개념들이 도입되고 구현되는 것처럼 듀얼 사이클 운영방식도 정보기술과 운영기술의 발전으로 점차 가능하게 될 것이다.

터미널에서 듀얼 사이클 운영을 원활히 하기 위해서는 기존의 Q/C 일정 계획을 수정하여야 한다. 양·적하 작업 순서를 변경하여 겹쳐지는 기회가 많아진다면 듀얼 사이클 횟수를 증가 시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 Q/C 일정 계획을 변경하여 듀얼 사이클 횟수를 높일 수 있는 방법을 제시한다.

## 1.2 관련 문헌 고찰

최근 컨테이너 터미널의 효율성 향상을 목적으로 하는 여러 연구보고서를 살펴보면 듀얼 사이클 운영이 일부 선진 터미널에서는 이미 시행되고 있고, 우리나라 터미널에 대해서도 도입을 주장 하고 있다. Goodchild and Daganzo(2006)는 크레인 더블 사이클 운영의 양·적하 작업 순서를 결정하기 위한 효율적인 알고리즘인 proximal stack strategy 를 제시하고 그것을 Johnson 규칙과 비교하였다. 또한 이들은 크레인 더블 사이클 운영의 도입이 컨테이너 터미널에 미치는 영향을 평가하고, 스트래들 캐리어를 이송장비로 사용하는 야드에서의 단일 서버 대기행렬 모형을 이용하여 싱글 사이클과 더블 사이클에서의 이송장비 대수를 비교하였다(Goodchild and Daganzo, 2007). 송장호(2007)는 앞서 발표된 외국 논문들은 우리나라 실정에 맞지 않다고 판단하여 작업 모선의 컨테이너 적재 상황에 따라 더블 사이클 최적 시작지점을 산출하는 공식을 제시하고, 이를 위한 두 가지 야드 운영방안을 제안하였다. 앞서 발표된 논문들은 모두 하나의 Q/C 에서 더블 사이클이 일어나는 경우 더블 사이클 수행 횟수를 최대화하는 문제를 다루고 있다. 그러나 실제 터미널에서는 단일 Q/C 의 더블 사이클 문제와 함께 Q/C 간 Y/T 듀얼 사이클 문제가 고려될 때 더블 사이클로 인한 높은 효과를 볼 수 있다. 본 논문에서는 다수의 Q/C 간에 양·적하 작업을 동기화함으로써 Y/T 의 공차 운행율을 줄이는 듀얼 사이클 문제를 다루고자 한다.

### 1.3 논문의 구성

본 논문의 구성을 살펴보면, 1장에서는 먼저 연구를 진행하게 된 배경과 연구 목적에 관하여 언급하고, 기존에 수행된 관련분야의 연구 내용들을 살펴보았다. 2장에서는 듀얼 사이클의 개념을 설명하고, 수리적 모형을 제시한다. 3장에서는 본 논문에서 다루고 있는 효율적인 양·적하 계획을 위해 메타 휴리스틱을 이용한 듀얼 사이클 해법을 제시한다.

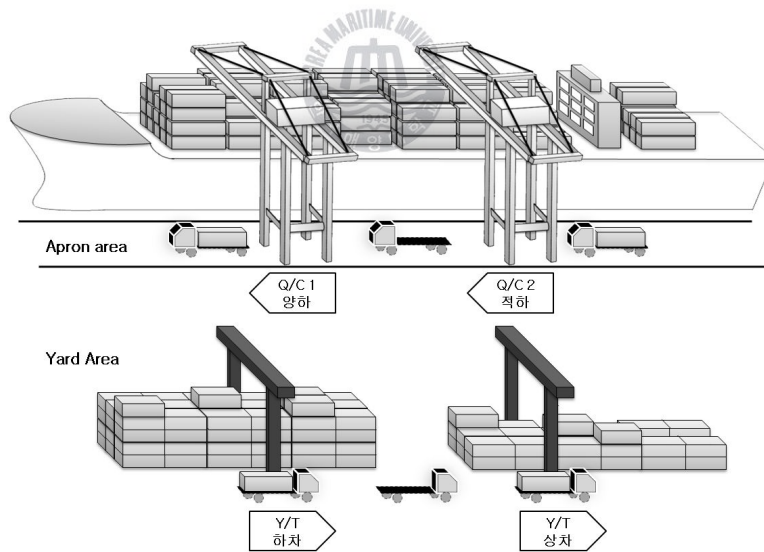
마지막으로 4장에서는 본 연구의 수행과정에서 얻은 성과와 차후의 연구방향에 대하여 언급하도록 한다.



## 제 2 장 개념과 모형

### 2.1 듀얼 사이클의 개념

기존의 이송장비는 선석의 Q/C 와 야드 블록 간에 1회 운행 시 1개의 컨테이너만을 운송하는 싱글 사이클 운영 방식이 주로 이용되고 있다. 따라서 이송장비의 양하 및 적하 작업 시 전체 운행거리의 약 50%를 컨테이너가 적재되지 않은 공차로 운행하게 되므로 이송장비의 작업효율성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이에 반해 더블 사이클 운영 방식은 1회 운행에서 양하 및 적하작업을 동시에 수행하는 개념으로 이송장비의 공차 운행을 최소화하도록 하는 운영 전략이다.

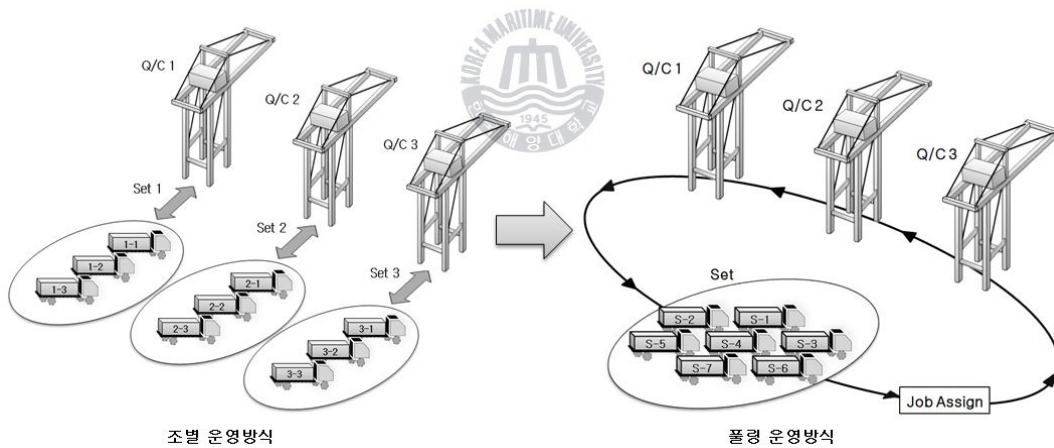


<그림 2-1> 듀얼 사이클 개념

더블 사이클은 운영되는 형태에 따라 두 가지로 나뉜다. 하나는 단일 Q/C 에서 하나의 bay 에 양하와 적하를 동시에 하는 것이다. 이 경우에는 Q/C Spreader 의 한 번의 왕복이동을 통해 양하와 적하 작업을 동시에 수행할 수

있다. 두 번째로 Y/T 더블 사이클은 서로 다른 Q/C가 있을 때 하나는 적하, 하나는 양하 작업을 하고 있다면 그 두 Q/C에 대해 동일한 Y/T를 할당하는 방법으로 주로 실무에서는 듀얼 사이클로 잘 알려져 있다.

듀얼 사이클은 서로 다른 bay 간에 서로 다른 Q/C의 작업이 동시에 적하, 양하 순서를 가질 때 가능하다. 즉 <그림 2-1>처럼 진행 방향에 맞게 적하작업과 양하 작업이 동시에 이루어져야 한다. 보통의 경우 싱글 사이클에서는 전체 양하 작업을 마무리한 후 선적 작업을 시작한다. 이 때 Y/T는 한 번의 왕복에서 양적하 작업 시 절반의 구간은 공차로 운행하여야 한다. 하지만 듀얼 사이클의 경우에는 왕복 구간에서 Y/T의 효율을 2배로 증가시킬 수 있다. 이러한 장점으로 인해 현재 컨테이너 터미널에서 듀얼 사이클에 대한 관심이 높아지고 있다.



<그림 2-2> Y/T 운영방식의 변화

이러한 방식의 작업이 원활하게 이루어지기 위해서는 야드에서의 추가적인 정체가 없어야 하고 두 크레인 간의 작업 속도도 맞아야 한다. 그리고 <그림 2-2>와 같이 Y/T 운영방식을 기존의 조별 운영방식(dedicated 방식)에서 풀링 방식으로 전환 하여야 한다. 기존 Q/C 일정계획의 일반적인 가정에 추가적으로 Y/T 풀링이 완벽하다면, 선박의 듀얼 사이클로 인해 Y/T 이용률이 극대화 될 것이다.

## 2.2 듀얼 사이클의 적용

### 1) 항만 운영 시스템

일반적인 컨테이너 터미널에서는 하역작업을 효율적으로 수행하기 위해 사전 계획을 수립한다. 선박의 접안 위치를 결정하는 선석 배정계획, Q/C 투입 대수를 결정하고, 각 hatch 별 작업순서를 결정하는 Q/C 배정계획, Q/C 배정계획 후 본선의 컨테이너를 장치장에 하역하기 위한 양하 작업계획이 수립된다. 양하 계획은 본선에 적재되어 있는 개별 컨테이너에 대한 양하 순서만을 결정하지만 적하계획은 적하 순서와 적하 컨테이너의 중량을 고려하여 본선의 적하 위치를 동시에 결정하는 것이다.

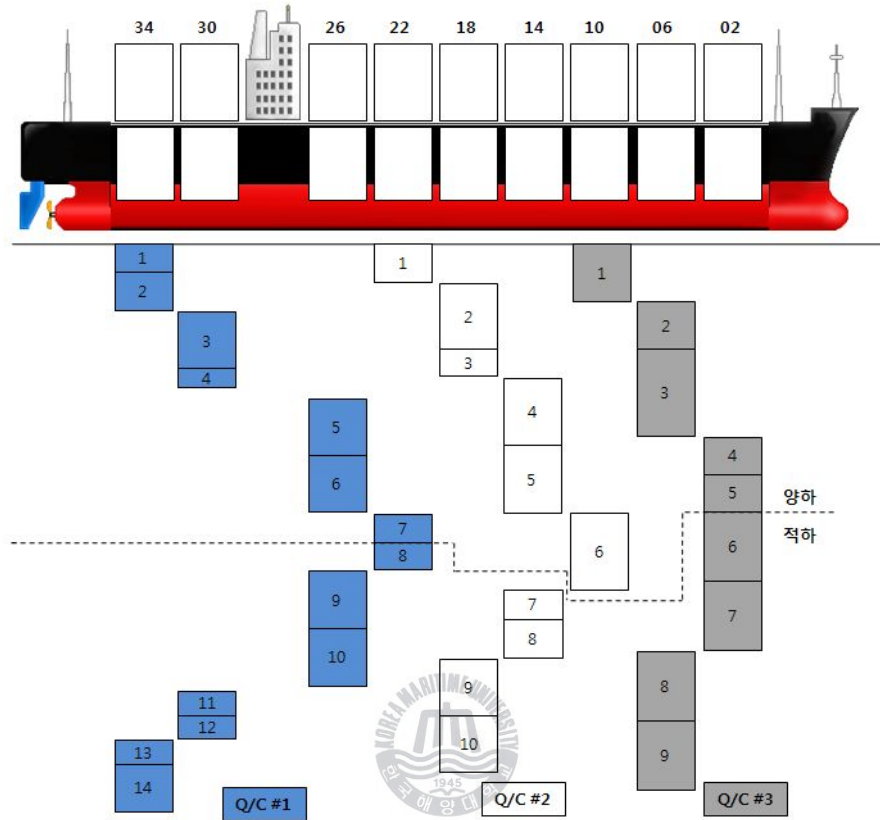


<그림 2-3> 컨테이너 터미널 본선계획 순서

### 2) 듀얼 사이클 적용

일반적으로 크레인의 작업은 선박의 hatch 단위로 이루어지게 되며, 하나의 hatch 에서 작업이 완료되면 다음 hatch 로 이동하여 작업을 한다. 여기서 Q/C 의 작업 순서는 선박이 입항하기 전 사전계획에 의해 작성된다. 이 사전계획은 한 선박에 투입될 Q/C 에 대해서 가능하면 작업량을 투입된 크레인 별로 평균화하여 전체 하역 작업시간을 최소화 하도록 작성되며, 크레인 간에 작업 교차가 허용되지 않으며 최소 작업간격을 유지하게 되어 있다. <그림 2-4>는 일반적인 Q/C 일정 계획을 나타내는 표이다.





<그림 2-4> 일반적인 Q/C 배정 및 작업 순서

위의 그림처럼 양하 작업이 모두 끝난 후 적하 작업을 하는 일반적인 하역 방식은 듀얼 사이클 운영에 적합하지 않다. 따라서 기존의 작업 방식을 수정해야 한다. 왜냐하면 듀얼 사이클은 양하와 적하가 동시에 이루어질 때 가능하기 때문이다. Q/C 배정계획 단계에서부터 양하와 적하 작업을 듀얼 사이클로 묶고 Y/T를 배정하는 적극적인 방법이 필요하다.

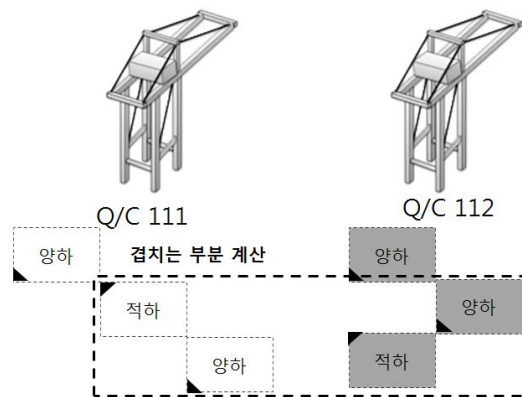
실제 터미널에 따라 양하 작업 시작 시 적하 작업에 대해서 크레인 배정계획 자체를 하지 않는 곳도 있지만, 대부분의 터미널에서는 양하 후 적하라는 순서로 크레인 배정계획을 하고 있다. 하지만 본 논문에서는 그러한 작업 공식을 버리고 두 크레인의 작업에서 양-적하 작업순서를 교환하는 방법을 사용하겠다.

## 2.3 문제의 설정

본 논문에서 고려한 가정 및 제약조건은 다음과 같다.

- 크레인의 작업은 기본적으로 hatch 단위로 이루어진다.
- 하나의 hatch 에 대해서 deck 와 hold 의 물량을 각각 상이한 두 대의 크레인이 분리하여 작업 할 수 있다.
- 양하 작업 시에는 deck 의 작업이 hold 의 작업에 선행되며, 적하 작업 시에는 그 반대로 이루어진다.
- 한 대의 크레인이 담당하는 hatch 는 연속되어 있어야 하며, 크레인 간에 작업이 교차되지 않는다.
- 크레인 간의 간섭을 고려하여 크레인 간에는 최소작업 거리를 유지한다.
- 크레인의 성능은 동일한 것으로 간주한다.(작업시간은 컨테이너 개수에 비례하고 확정적이다.)
- Y/T 풀링은 듀얼 사이클 운영에 지장이 없을 정도이다.

Q/C 의 안벽 작업 시 기본적으로 고려해야하는 사항에 양하와 적하작업을 분리하지 않고, Y/T 풀링이 듀얼 사이클을 완벽히 지원한다고 가정하였다.



<그림 2-5> 듀얼 사이클 계산

본 논문에서는 위와 같은 제약사항 하에서 <그림 2-5>와 같이 양하 1회와 적하 1회가 동시에 일어날 때, 또는 적하 1회와 양하 1회가 동시에 일어날 때를 듀얼 사이클 1회로 계산하여 Y/T 듀얼 사이클 횟수의 총합을 최대화 하겠다.

## 2.4 수리적 모형

### 1) Notation(표기법)

문제의 모형화에 사용되는 표기법은 다음과 같다.

#### <인덱스 셋>

- 양하 작업 셋  $U = \{1, 2, \dots, u\}$ .
- 적하 작업 셋  $L = \{1, 2, \dots, l\}$ .
- $n$  개의 작업 셋  $\Omega = U + L$ .
- $q$  개의 크레인 셋  $K = \{1, 2, \dots, q\}$ .
- $(i, j) \in \Phi$  를 만족하는 모든  $i, j$  작업 셋은 우선순위를 가진다.
- $(i, j) \in \Psi$  를 만족하는 모든  $i, j$  작업 셋은 동시에 일어날 수 없다.

#### <입력 데이터>

- $p_i, \forall i \in \Omega$ , 작업  $i$  의 processing time.
- $r_k, \forall k \in K$ , Q/C  $k$  의 가장 이른 이용가능 시간.
- $b_i, \forall i \in \Omega$ , 작업  $i$  의 작업 지점(ship bay).
- $b_k^0, \forall k \in K$ , Q/C  $k$  의 작업 시작 지점(ship bay).
- $b_k^T, \forall k \in K$ , Q/C  $k$  의 작업 완료 지점(ship bay).
- $t$ , 두 인접한 bay사이의 Q/C 이동시간.

- $t_{ij}, \forall i, j \in \Omega$ , 지점  $b_i$  와 지점  $b_j$  사이의 Q/C 이동시간  $t_{ij} = t \times |b_i - b_j|$
- $t_{0j}^k, \forall j \in \Omega, k \in K$ , 지점  $b_k^0$  에서 지점  $b_j$  사이의 Q/C 이동시간  $t_{0j}^k = t \times |b_k^0 - b_j|$
- $t_{iT}^k, \forall i \in \Omega, k \in K$ , 지점  $b_i$  에서 지점  $b_k^T$  사이의 Q/C 이동시간  $t_{iT}^k = t \times |b_i - b_k^T|$   
( $t_{iT}^k = 0, \forall i \in \Omega$  마지막 작업 이후의 Q/C의 이동시간은 고려되지 않는다.)
- $\Omega^0 = \Omega \cup \{0\}, \Omega^T = \Omega \cup \{T\}$
- $M$ , 어떠한 가능 해들도 제외시키지 않을 매우 큰 양수(big M).

#### <결정 변수>

- $x_{ij}^k \in \{0,1\}, \forall (i, j) \in A, k \in K$ , 만약  $k$  크레인이 작업  $i$  가 완료되고 바로 작업  $j$  에 할당 될 경우  $x_{ij}^k = 1$ 이다. 만약  $i=0$  이고  $x_{ij}^k = 1$ 이면, 작업  $j$  는 크레인  $k$  에 최초로 할당된 작업이다. 이와 마찬가지로  $j=T$  이고  $x_{ij}^k = 1$  이면, 작업  $i$  는 크레인  $k$  의 마지막 작업이다.
- $D_i, \forall i \in \Omega$ , 작업  $i$  의 완료시간.
- $z_{ij} \in \{0,1\}, \forall i, j \in \Omega$ , 만약 작업  $j$  가 작업  $i$  의 완료시간 보다 늦게 시작 되면  $z_{ij} = 1$ , 그렇지 않으면  $z_{ij} = 0$ 이다.
- $C^k, \forall k \in K$ , 크레인  $k$  의 작업완료 시간.
- $W$ , 모든 크레인이 작업을 완료하는 가장 이른 시간.
- $DC_{ij}$ , 듀얼 사이클 수행 횟수.

#### 2) 모형

앞서 정리한 파라미터를 이용해서 문제를 모형화하면 다음과 같다.

$$\text{Maximize} \quad \alpha \sum_{i \in L} \sum_{j \in U} DC_{ij} + \beta W \quad (1)$$

subject to

$$C^k \leq W \quad \forall k \in K, \quad (2)$$

$$\sum_{j \in \Omega} x_{0j}^k = 1 \quad \forall k \in K, \quad (3)$$

$$\sum_{j \in \Omega} x_{iT}^k = 1 \quad \forall k \in K, \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in \Omega} x_{ij}^k = 1 \quad \forall j \in \Omega, \quad (5)$$

$$\sum_{j \in \Omega^T} x_{ij}^k - \sum_{j \in \Omega^0} x_{ji}^k = 0 \quad \forall i \in \Omega, \forall k \in K, \quad (6)$$

$$D_i + t_{ij} + p_j - D_j \leq M(1 - x_{ij}^k) \quad \forall i, j \in \Omega, \forall k \in K, \quad (7)$$

$$D_i + p_j \leq D_j \quad \forall (i, j) \in \Phi, \quad (8)$$

$$D_i + p_j - D_j \leq M(1 - z_{ij}) \quad \forall i, j \in \Omega, \quad (9)$$

$$z_{ij} + z_{ji} = 1 \quad \forall (i, j) \in \Psi, \quad (10)$$

$$\sum_{v=1}^k \sum_{u \in \Omega^0} x_{uj}^v + \sum_{v=k}^q \sum_{u \in \Omega^0} x_{ui}^v \leq 1 + z_{ij} + z_{ji} \quad \forall i, j \in \Omega, b_i < b_j, (i, j) \notin \Psi, \forall k \in K, \quad (11)$$

$$DC_{ij} = \max(\min(D_i, D_j) - \max(D_i - p_i, D_j - p_j), 0) \quad \forall i \in L, \forall j \in U, b_i < b_j, (i, j) \notin \Psi, \quad (12)$$

$$D_j + t_{jT}^k - C^k \leq M(1 - x_{jT}^k) \quad \forall j \in \Omega, \forall k \in K, \quad (13)$$

$$r_k - D_j + t_{0j}^k + p_j \leq M(1 - x_{0j}^k) \quad \forall j \in \Omega, \forall k \in K, \quad (14)$$

$$x_{ij}^k \in \{1, 0\} \quad \forall k \in K, \forall (i, j) \in A, \quad (15)$$

$$z_{ij}^k \in \{1, 0\} \quad \forall k \in K, \forall i, j \in \Omega, \quad (16)$$

$$C^k, D_i \geq 0 \quad \forall i \in \Omega, \forall k \in K, \quad (17)$$



$$DC_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in L, \forall j \in U, b_i \leq b_j, (i, j) \notin \Psi. \quad (18)$$

수식 (1)은 목적함수로 듀얼 사이클 수행 횟수를 최대로 한다. 듀얼 사이클 수행 횟수는 최대로 하면서 가능한 작업완료시간을 줄이기 위해서 가중치  $\alpha$  와  $\beta$  를 사용한다.  $\alpha$  는 양의 가중치이고,  $\beta$  는 음의 가중치이다. 수식 (2)는 전체 작업시간을 나타낸다. 수식 (3)과 (4)는 각각의 Q/C의 시작 작업과 마지막 작업을 가리킨다. 제약 (5)는 모든 작업은 반드시 하나의 Q/C에 의해서 처리된다는 것을 나타낸다. 제약 (6)은 흐름 제약 조건이다. (7)은 연속된 작업 사이의 완료시간을 결정해주고, sub tour를 방지한다. (8)은 작업  $j$ 가 시작되기 전에 작업  $i$ 가 완료되어야 한다는 것을 의미한다. (9)는  $z_{ij}$  변수를 정의한다. 제약 (10)은 작업  $i, j$ 가  $\Psi$ 에 포함된다면, 두 작업은 동시에 일어날 수 없음을 의미한다. 제약 (11)에 의해서 두 크레인의 작업은 서로 교차 할 수 없다. 조건  $b_i < b_j$ 와  $(i, j) \notin \Psi$ 에 의해서 서로 다른 크레인에 의해서 두 작업이 동시에 일어날 수 없는 bay에 위치한 경우 작업의 순서에 대한 제약이 없기 때문에  $z_{ij} + z_{ji} = 0$ 이 되고,  $\sum_{v=1}^k \sum_{u \in \Omega^0} x_{uj}^v + \sum_{v=k}^q \sum_{u \in \Omega^0} x_{ui}^v \leq 1$ 에 의해서 크레인 교차를 피할 수 있다. 만약 두 작업  $i, j$ 가 모두 크레인  $k$ 에 의해서 작업이 된다면,  $z_{ij} + z_{ji} = 1$ 이 되고 우변 값이 2가 되기 때문에 제약을 만족하게 된다. (12)번 식은 듀얼 사이클 횟수를 측정하기 위한 제약으로 서로 다른 크레인에 의해서 작업되는  $i, j$  간에 시간상으로 겹치는 부분을 구한다. (13)번은 각각의 Q/C의 작업 완료 시간을 정의한다. (14)번은 각각의 크레인의 가장 빠른 작업 시간 시간을 정의한다. (15), (16)은 0-1 변수를 정의하고, (17), (18)은 비음제약 조건이다.

이상으로 듀얼 사이클 횟수를 최대화 하기위한 크레인 작업순서 배정계획을 혼합정수계획법(mixed-integer programming, MIP)으로 모형화 하였다.

## 제 3 장 문제의 해법 연구

### 3.1 문제의 해법

크레인 작업순서 배정 계획을 계량적으로 모형화 한 기존의 선행 연구에서는 작업완료 시간을 최소화 하기위해 다양한 휴리스틱 알고리즘을 이용하였다. Kim and Park(2003)은 크레인 일정계획에 대한 수리적 모형을 제시하고 분지한계법(branch and bound)과 GRASP(Greedy randomized adaptive search procedure) 알고리즘을 이용해서 해법을 제시하였다. Moccia et al.(2005)은 branch and cut 알고리즘을 제시하였고, Sammarra et al.(2007)은 타부 서치(Tabu Search)를 이용하여 해법을 제시하였다.

위의 논문은 정해진 작업을 Q/C에 할당하여 작업 완료시간을 줄이고 각각의 크레인에 작업량을 고르게 분배하는 것이 목적이었지만, 본 논문은 Y/T 듀얼 사이클을 많이 일어나게 하기 위해서 적하와 양하 작업이 겹쳐지는 시간을 최대화하는 것이다. 물론 듀얼 사이클 횟수를 최대화 하면서 전체 하역 작업시간이 크게 늘어나지 않게 해야 한다. 2장에서 정리한 MIP문제의 특성상 변수의 개수와 제약조건이 많아지면 최적해를 구하는 시간이 기하급수적으로 늘어난다. 이것을 극복하기 위해서 필자는 문제의 해법으로 타부서치 알고리즘과 유전 알고리즘을 제시하고, 서로 비교하였다.

#### 1) 유전 알고리즘

유전 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)은 찰스 다윈(Charlises Darwin)의 자연선별과 멘델(Gregor Mendel)의 유전법칙을 이용한 확률적 탐색기법이다. 타부

서치(Tabu Search), 시물레이티드 어닐링(Simulated Annealing)과 같은 이웃해 탐색기법이 하나의 해를 운용하는데 반하여, 유전 알고리즘은 복수 개의 잠재 해들로 이루어진 해의 집단(population)을 운용한다. 이러한 해 집단에 자연선택과 유전법칙의 메커니즘을 적용하여 세대(Generation)를 진행시키면서 해 공간을 탐색한다(김여근 외, 1997).

### (1) 유전자 구조

유전 알고리즘의 해를 표현하는 방법은 다양하다. 풀고자 하는 문제의 특성에 따라 이진수 또는 실수로 표현될 수 있다. 이외에도 여러 가지 표현방법이 있다. 유전자(해) 구조의 설정에 따라 유전 연산과 평가방법이 달라진다. 그러므로 문제에서 요구하는 특성을 잘 반영할 수 있게 유전자를 표현하는 것은 중요한 문제이다.

본 연구에서 제시하는 유전자 구조는 다음과 같다. 특정 크레인의 작업순서를  $qc_1 = (11\ 12\ 13\ 14\ 21\ 22\ 23\ 24)$ 로 정의한다면 전체 크레인이 3대일 때 다음과 같은 모양의 2차원 매트릭스 형태로 유전자를 표현한다.

$$P_1 = \begin{bmatrix} qc_1 \text{작업 순서} \\ qc_2 \text{작업 순서} \\ qc_3 \text{작업 순서} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 11 & 12 & 13 & 14 & 21 & 22 & 23 & 24 \\ 31 & 32 & 33 & 34 & 41 & 42 & 43 & 44 \\ 51 & 52 & 53 & 54 & 61 & 62 & 63 & 64 \end{bmatrix}$$

1 1, 1번 hatch deck 양하    1 2, 1번 hatch hold 양하  
2 3, 2번 hatch hold 적하    2 4, 2번 hatch deck 적하

<그림 3-1> 유전자 구조

크레인 작업 순서에서 숫자의 의미는 <그림 3-1>에서 보는 것처럼 첫 번째 숫자는 hatch 번호, 두 번째 숫자는 작업 지점을 의미한다. 각각의 작업 지점은

1 → 2 → 3 → 4의 순서가 반드시 지켜져야 제약 사항을 위반하지 않는다.



## (2) 평가함수와 알고리즘 구조

평가함수는 다음과 같이 듀얼 사이클 수행 횟수를 최대화 한다.

$$f(x) = \text{Dual\_Cycle 횟수} \quad (20)$$

알고리즘은 일반적인 유전 알고리즘 형태를 지니고 다음과 같이 표현 할 수 있다.

```
begin
  t ← 0
  P(t)의 초기화(초기 모집단 생성)
  P(t)의 적응도 평가
  while(종료조건이 만족되지 않으면) do
    begin
      t ← t + 1
      P(t-1)로부터 P(t)를 선별
      P(t)의 유전 연산자 crossover(0.25)
      P(t)의 유전 연산자 mutation(0.05)
      P(t)의 적응도 평가
    end
  end
end
```

<그림 3-2> 알고리즘 구조

먼저 초기 모집단을 생성하고 적응도를 평가한다. 평가한 적응도를 바탕으로 다음 세대를 선별하고 반복횟수를 증가시킨다. 유전 연산자를 통해서 정해진 확률에 따라 새로운 유전자(해)를 생성하고 다시 적응도를 평가하여 다음세대로 진화하는 과정을 반복하게 된다.

## (3) 유전 연산자

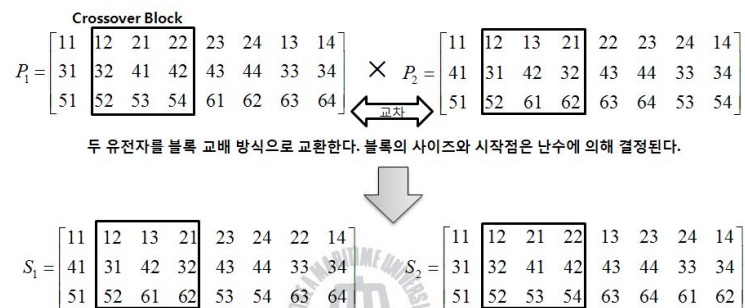
본 연구에서는 유전 연산자로 교차와 돌연변이 연산을 사용한다. 추가적으로 교차와 돌연변이 연산에 따른 실현 불가능 해를 제거하기 위해 해를 수정하고

별금함수를 적용하는 방법으로 다음 세대를 선별한다.

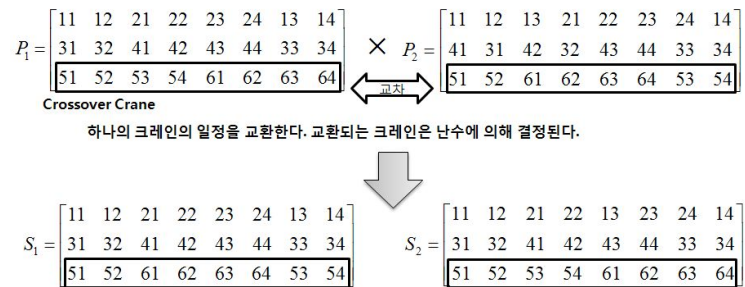
·교차(Crossover)

교차는 우수한 두 유전자를 이용하여 새로운 해를 생성하는 유전 알고리즘의 대표적인 연산방법이다. 문제에 따라서 다양한 교차 연산을 통해서 더 좋은 해를 구할 수 있다.

[교차\_1]



[교차\_2]



<그림 3-3> 교차 방법

본 논문에서는 <그림 3-3>과 같이 두 가지 교차 연산자를 사용한다. 첫 번째 연산자는 부모 유전자에서 block을 설정하여 그것을 서로 바꾸는 block 교차방법이다. block 교차 시 block의 크기와 block의 위치는 난수에 의해서 결정된다. 이것은 TSP(Traveling Salesman Problem)에서 사용하는 부분 사상교차와 동일

한 방법이다. 두 번째로 하나의 크레인의 작업을 교환하는 crane 교차이다. crane 교차 시 교차 대상이 되는 크레인 또한 난수에 의해서 결정된다. 이러한 두 가지 교차방법은 순서가 중요한 본 문제에 적합한 교차 방식이다.

·돌연변이(Mutation)

교차 연산은 부모해의 속성을 이용해서 새로운 해를 만든 반면 돌연변이 연산은 부모 해에 없는 속성을 자식 해에 도입하는 역할을 한다.

유전 알고리즘은 세대가 거듭 될수록 해가 수렴하게 되는데 이렇게 되면 다양성이 떨어지면서 지역해로 빠지게 된다. 이를 피하기 위해서 돌연변이 연산을 해야 한다. 돌연변이의 확률을 높이면 보다 다양한 해를 생성할 수 있어 유전 알고리즘의 역동성은 늘어나지만 해 집단의 수렴성이 떨어져 수행시간이 길어지고 개선의 속도가 느려진다(문병로, 2008).

본 논문에서는 돌연변이 연산을 위해서 아래 그림과 같이 두 가지 돌연변이 연산을 제안한다. 첫 번째 방법은 먼저 난수를 발생시켜 크레인을 선택하고, 선택되어진 크레인의 작업 순서를 모두 재 할당하는 방식을 사용한다.

[돌연변이\_1]

$$P_1 = \begin{bmatrix} 11 & 12 & 13 & 21 & 22 & 23 & 24 & 14 \\ 41 & 31 & 42 & 32 & 43 & 44 & 33 & 34 \\ 51 & 52 & 61 & 62 & 63 & 64 & 53 & 54 \end{bmatrix}$$

한 크레인의 작업 순서를 제약 조건이 위배 되지 않는 범위 내에서 다시 생성한다.



$$M_1 = \begin{bmatrix} 11 & 21 & 12 & 22 & 23 & 24 & 13 & 14 \\ 41 & 31 & 42 & 32 & 43 & 44 & 33 & 34 \\ 51 & 52 & 61 & 62 & 63 & 64 & 53 & 54 \end{bmatrix}$$

[돌연변이\_2]

$$P_2 = \begin{bmatrix} 11 & 12 & 21 & 22 & 23 & 24 & 13 & 14 \\ 41 & 31 & 42 & 32 & 43 & 44 & 33 & 34 \\ 51 & 52 & 61 & 62 & 63 & 64 & 53 & 54 \end{bmatrix}$$

한 크레인의 작업 순서 중 임의의 두 작업을 교환한다.



$$M_2 = \begin{bmatrix} 11 & 21 & 12 & 22 & 23 & 24 & 13 & 14 \\ 41 & 31 & 33 & 32 & 43 & 44 & 42 & 34 \\ 51 & 52 & 61 & 62 & 63 & 64 & 53 & 54 \end{bmatrix}$$

<그림 3-4> 돌연변이 방법

돌연변이 연산의 두 번째 방법은 하나의 크레인의 작업순서 중 임의의 두 작

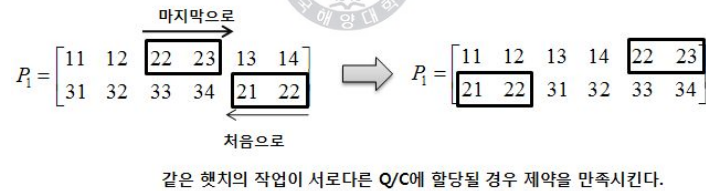
업을 교환하는 방법을 사용한다. 두 번째 돌연변이 연산의 경우 두 작업의 교환만으로도 완전히 다른 해가 구성되기 때문에 유전 알고리즘의 돌연변이 연산의 역할을 잘 수행해 줄 수 있다.

(4) 적합도 평가와 수정

[단일 Q/C의 작업순서 교정]



[서로 다른 Q/C의 작업 순서 교정]



<그림 3-5> 작업 교정

적합도 평가는 평가함수를 통해서 적응도를 계산하고 적응도의 크기에 따라 다음 세대로의 진화 확률이 높아지는 확률 바퀴 방법을 사용하였다. 위에서 설명한 돌연변이 방법을 그대로 문제에 적용하면 제약 사항을 만족하지 못하는 해가 점차 많아 질수도 있는데 단일 Q/C의 작업순서가 제약을 위반하는 경우와 서로 다른 Q/C의 작업순서가 제약을 위반하는 경우가 있을 수 있다. 단일 Q/C의 작업순서가 위반인 경우 <그림 3-5>와 같이 두 작업 지점을 교환하는 방식으로 해결한다. 그리고 한 hatch를 서로 다른 Q/C가 담당하게 되고, 작업

이 순서대로 일어나지 않을 경우 작업 순서 교정을 위해서는 <그림 3-5>의 아래 그림과 같이 제약에 위반되는 작업의 선후 관계를 수정하게 된다.

위의 두 가지 방법의 수정을 거치고도 크레인의 간섭이 일어날 수 있다. 이웃하는 hatch의 작업이 서로 다른 Q/C에 할당되고, 같은 시점에 일어날 경우가 이에 해당한다. 이러한 유전자가 다음 세대로 유전될 경우 제약을 위반하는 유전자가 대량으로 발생할 수 있다. 제약 조건을 위반한 유전자를 다음 세대로 선택되는 확률을 줄이기 위해서 벌금 함수를 다음과 같이 부과한다.

$$eval(x) = \begin{cases} f(x) & , x \in F \\ f(x) + penalty(x) & , x \notin F \end{cases} \quad (21)$$

여기서  $penalty(x)$ 는  $x$ 가 제약( $F$ )을 만족하면 0, 그렇지 않으면 음의 값을 가진다.  $penalty(x)$ 를 계산할 때 크레인 간섭이 일어나는 컨테이너 수를 이용한다. 따라서 특정한 해에서 간섭이 일어나는 시기가 길어진다면 듀얼 사이클 횟수가 많다고 하더라도 평가함수의 값이 나빠지기 때문에 다음 세대로 진화할 가능성이 적어진다.

#### (5) 선택(Selection)

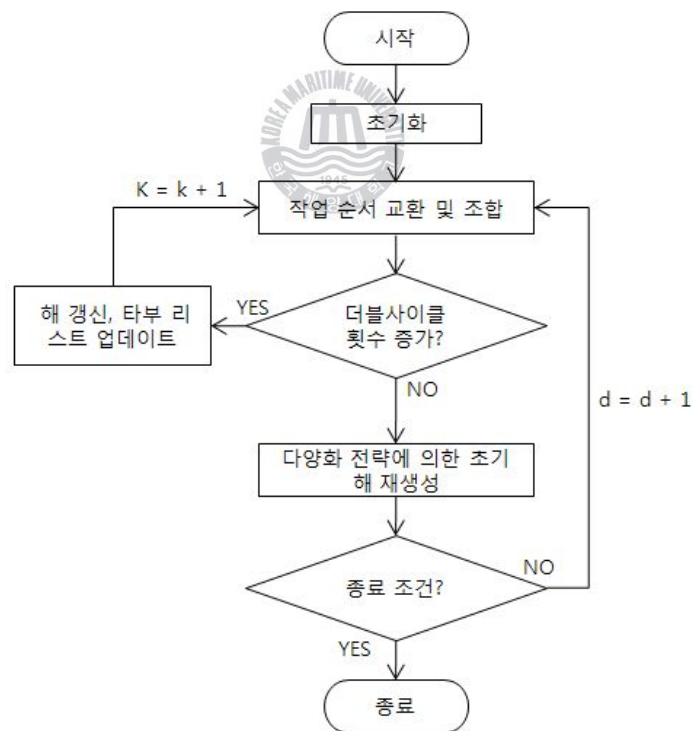
선택은 유전 알고리즘에서 다음세대로 진화할 유전자를 선택하는 것이다. 일반적으로 적합도가 높은 유전자를 다음 세대로 진화시켜 새로운 해를 만들어야 하겠지만, 조기 수렴으로 인해 해 공간을 충분히 탐색하지 못할 수도 있기 때문에 해 집단의 다양성과 선택압력을 적절히 조절해야 한다. 선택방법은 확률바퀴(roulette wheel), 순위선별(ranking selection), 토너먼트선별(tournament selection)등 여러 방법들이 있다.

본 논문에서는 앞서 설명한 방법으로 적합도를 평가하고 확률적으로 적합도가 높은 유전자를 다음 세대로 진화시키기 위해서 확률바퀴 방법을 사용하였다.

## 2) 타부 서치 알고리즘

타부 서치는 Glover에 의해 제안된 공간 탐색 방법으로서 지역 최적점을 벗어나는 효율적 방법 중 하나이다. 일반적인 탐색 방법들은 과거에 방문한 적이 있는 해들을 반복적으로 방문함으로써 시간을 비효율적으로 사용한다. 하지만 타부 서치는 최근에 방문한 적이 있는 해들의 목록을 유지하면서 이들에 대한 반복적인 방문을 피함으로써 공간 탐색의 효율을 꾀한다. 타부 서치에 대한 자세한 내용은 메타휴리스틱(김여근 외, 1997)이나 Tabu search(Glover and Laguna, 1997)에서 참조 할 수 있다.

본 논문을 위한 타부 서치 알고리즘은 다음과 같은 방식으로 설계 되었다.

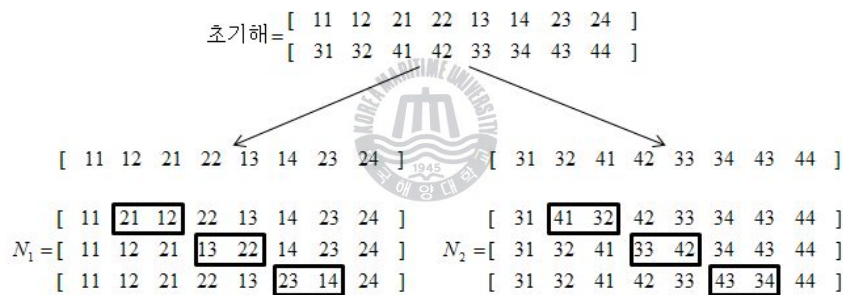


<그림 3-6> 타부 서치 알고리즘

처음 초기화 단계에는 초기 해를 생성한다. 초기 해의 듀얼 사이클 수행 횟수를 최적해로 설정하고, 타부 리스트( $T$ )를 초기화 한다.

각 크레인별 작업 순서의 이웃 해의 집합( $N_q$ )을 찾는다. 이웃 해는 현재 해에서 2개의 작업 순서를 바꿀 때 제약을 위반하지 않고, 타부리스트( $T$ )에 포함되지 않아야 한다. 이웃 해의 집합을 서로 조합하면서 듀얼 사이클 횟수를 계산하고 현재의 해와 비교한다.

조합한 해중에 평가함수 값이 가장 높은 이웃 해( $N_q^*$ )를 찾고 새로운 해로 갱신한다. 타부리스트( $T$ )를 업데이트 하고, 다시 작업 순서를 조합하여 새로운 이웃 해를 생성한다. 이 과정을 계속 반복하여 더 이상 해가 좋아지지 않을 때까지 진행한다.



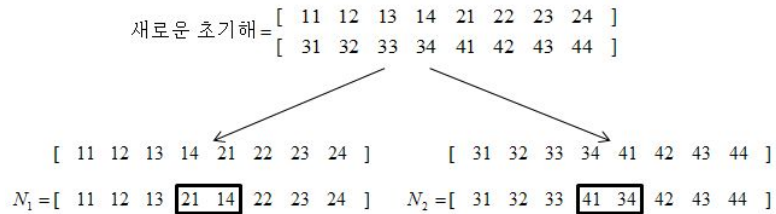
$N_1, N_2$  를 조합하여 더블 사이클 수행횟수가 가장 많은 새로운 해를 구한다.

if  $N^* = \begin{bmatrix} 11 & 21 & 12 & 22 & 13 & 14 & 23 & 24 \\ 31 & 32 & 41 & 42 & 33 & 43 & 34 & 44 \end{bmatrix}$  then,  $T = [12 \ 21], [34 \ 43]$

<그림 3-7> 이웃해 탐색 과정과 타부 리스트 갱신

위의 <그림 3-7>에서 초기 해의 구성은 각 크레인에 할당된 양하 작업을 다 끝내고 적하 작업을 시작한다. 이러한 방식은 이웃 해를 탐색하는 과정이 2개의 작업만을 교환하는 방식이기 때문에 많은 해 공간 중에서 부분적으로 탐색하는 단점이 있다. 즉, 변화가 심하지 않아서 전체의 해 공간을 탐색하기 힘들다. 따라서 다양화 전략은 초기 해를 새롭게 다시 생성하여 이웃 해를 찾는 방법으로 한다. 새로운 해는 기존의 방식인 양하 작업과 적하작업을 구분해서 수

행하는 방식에서 hatch 별로 양하 후 바로 적하를 하는 순서로 해를 구성한다.



<그림 3-8> 다양화 전략에 의한 새로운 해

실험을 통해 다양한 문제에 적용 시켜 본 결과 기존의 방식인 양하 작업과 적하 작업을 구분해서 하게 되면 듀얼 사이클 기회가 많이 없기 때문에 양하와 적하를 구분하지 않고 초기 해를 구성할 경우 듀얼 사이클 횟수가 더 쉽게 증가 하는 경향이 있었다.

### 3.2 실험 및 분석



#### 1) 유전 알고리즘 실험 결과

실험은 CPU Intel Core 2 Duo E6400 2.13GHz 프로세서, RAM 2GB 컴퓨터에서 Java언어로 코딩하였고, 다음과 같은 작업물량을 가진 선박에 대해 해법을 적용해 보았다.

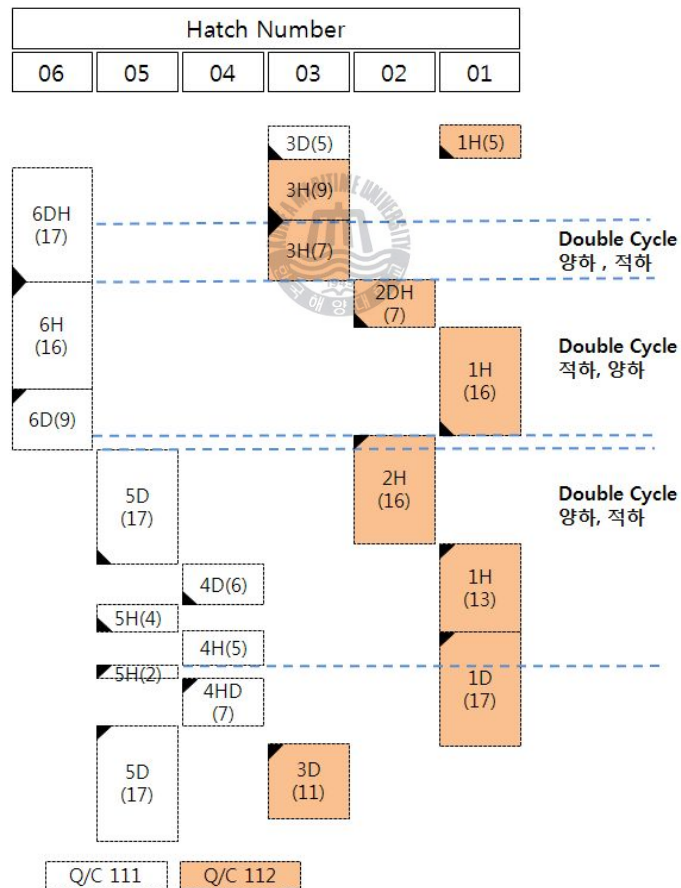
<표 3-1> 각 Hatch 별 작업 물량

	Deck 양하	Hold 양하	Hold 적하	Deck 적하
01 Hatch	5	16	13	17
02 Hatch	6	1	16	0
03 Hatch	5	9	7	11
04 Hatch	6	5	1	6
05 Hatch	17	4	12	17
06 Hatch	15	2	16	9



유전자 수는 30, 반복 횟수는 50, 교차율은 0.25, 돌연변이율은 0.05, 크레인 대수는 2대로 하였다. 유전 연산자는 앞서 설명한 것들 중에서 교차 1방식과 돌연변이 1방식을 이용하였다. 벌금 함수는 간섭이 발생하는 횟수만큼을 적합도 식에서 차감하여서 계산하였다.

<그림 3-9>를 보면 초기 해에서 적응도 값이 가장 큰 값이 25이고, 36번 반복 후 62회로 늘어났다. 하지만 크레인 당 작업 물량의 차이는 4개로 동일하다. 즉, 작업의 완료시간에 많은 영향을 주지 않으면서 듀얼 사이클 횟수를 37회 증가시켰다. 이는 37회 만큼의 작업에서 Y/T의 이용률이 높아졌다는 것을 의미한다.



<그림 3-9> 유전 알고리즘 실험 예제

위의 실험을 위해서 제시된 교차율이나 돌연변이율, 해집단과 같은 파라미터들을 실제 문제에 그대로 적용할 경우 문제의 크기와 상태에 따라서 좋지 못한 결과를 도출할 수도 있다. 왜냐하면 유전 알고리즘의 경우 확실적인 방법으로 해를 찾기 때문에 실행할 때마다 답이 다르다. 또한, 본 논문에서 풀고자 하는 문제는 하나의 작업순서의 변경만으로 듀얼 사이클 횟수의 변동이 심하기 때문에 다양한 문제들에 다양한 유전 연산자를 적용하고 파라미터들을 변경하면서 전체적으로 좋은 연산자와 파라미터를 결정하여야한다. 따라서 본 문제에 적합한 유전 알고리즘을 검증하기 위해서 다음과 같은 다양한 문제들을 생성하였다. 생성된 문제는 아래 표와 같고 실제 터미널에서 작업되어진 선박의 데이터를 이용하여 구성하였다.

<표 3-2> 생성된 문제

No	투입 크레인 대수	작업 지점 수
9_1	2	26
9_2	2	27
10_1	2	21
10_2	2	29
11_1	2	29
11_2	2	33
11_3	3	33
12_1	3	40
12_2	4	40
13_1	3	47
13_2	4	47
14_1	3	37
14_2	4	42
15_1	3	50
15_2	4	50
15_3	3	49

<표 3-2>를 살펴보면 문제 번호 9\_1 에서 9는 선박의 hatch 수를 의미한다. 투입된 크레인은 각각 고르게 물량을 분배받는다. 작업 지점 수는 각 hatch 별로 deck 와 hold 를 구분하여 앞서 제시한 가정에 따라 하나의 hatch 의 deck 나 hold 는 서로 다른 크레인이 작업 할 수 없게 하였다.

제시된 문제의 해를 탐색하기 위한 유전 알고리즘을 다음과 같이 구성하였다.

<표 3-3> 유전 알고리즘 구성

유전 연산자	GA1	GA2	GA3
교차	교차_1	교차_1	교차_2
돌연변이	돌연변이_1	돌연변이_2	돌연변이_2
선택	확률바퀴	확률바퀴	확률바퀴

일반적으로 교차는 해의 품질을 우수하게 하면서 해를 한곳으로 수렴하게 하는 특성을 가지고, 돌연변이는 해의 품질은 떨어지는 경우가 있더라도 다양한 해 공간을 탐색하게 하는 기능을 한다. 본 논문에서는 <표 3-3>과 같이 구성된 3가지 유전 알고리즘을 생성된 문제에 적용하여 보면서 적합한 교차율과 돌연변이율을 결정하였다. 그리고 해집단의 크기는 문제의 크기에 아래 표와 같이 따라 증가 시키고, 반복횟수는 50회로 하였다. 이를 위해서 각각의 알고리즘을 교차율과 돌연변이율에 따라 GA1\_1, GA1\_2, GA1\_3로 구성하여 아래 표와 같이 최종 3개의 알고리즘을 새롭게 구성하였다.

<표 3-4> GA1 결과

No	p-size	GA1_1	GA1_2	GA1_3
		c=0.25, m=0.05	c=0.35, m=0.15	c=0.45, m=0.25
9_1	50	98	108	136
9_2		89	84	88
10_1		45	47	47
10_2		108	125	122
11_1		96	79	100
11_2		96	113	113
11_3		79	86	82
12_1	70	113	115	113
12_2		141	144	140
13_1		129	127	141
13_2		107	99	124
14_1		134	134	151
14_2		192	197	192
15_1	80	139	133	147
15_2		173	181	176
15_3		187	187	219
15_4		147	163	208

p-size=해집단의 크기, c=교차율, m=돌연변이율

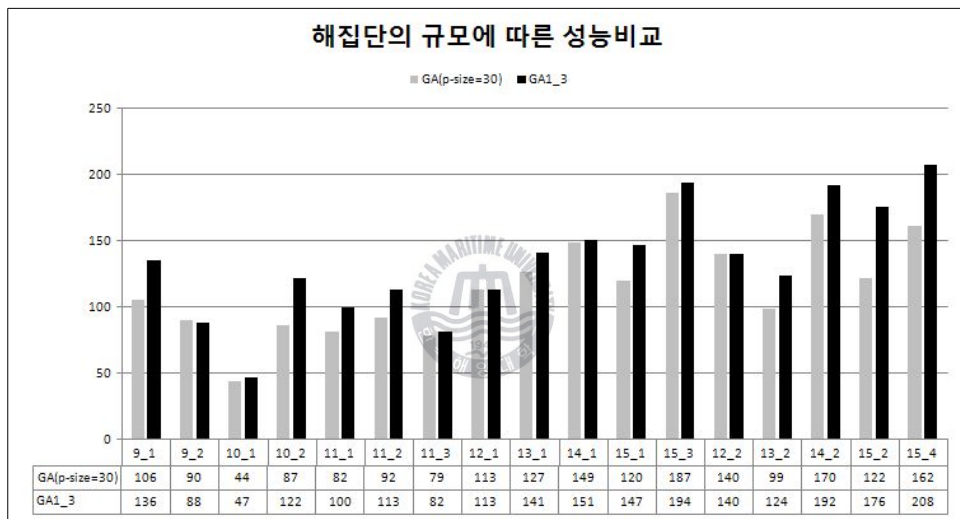
<표 3-5> GA2 결과

No	p-size	GA2_1	GA2_2	GA2_3
		c=0.25, m=0.05	c=0.35, m=0.15	c=0.45, m=0.25
9_1	50	81	113	101
9_2		65	92	98
10_1		31	41	38
10_2		102	146	129
11_1		77	76	78
11_2		104	102	92
11_3		82	85	87
12_1	70	113	113	113
12_2		140	140	140
13_1		127	127	139
13_2		99	99	99
14_1		134	134	160
14_2	192	192	193	
15_1	80	120	166	145
15_2		152	152	152
15_3		184	187	187
15_4		107	107	107

<표 3-6> GA3 결과

No	p-size	GA3_1	GA3_2	GA3_3
		c=0.25, m=0.05	c=0.35, m=0.15	c=0.45, m=0.25
9_1	50	110	105	105
9_2		79	87	85
10_1		31	35	40
10_2		118	135	111
11_1		66	77	97
11_2		82	69	92
11_3		79	79	79
12_1	70	117	113	113
12_2		140	147	147
13_1		134	127	127
13_2		116	131	124
14_1		162	137	134
14_2	192	191	193	
15_1	80	153	154	165
15_2		170	176	176
15_3		187	187	187
15_4		170	151	191

GA2와 GA3도 같은 방법으로 파라미터를 변경하면서 실험하였다. 위의 9개의 알고리즘 결과를 살펴보면 GA1 알고리즘들이 전반적으로 좋은 성능을 나타냈고 그중에서 GA1\_3이 가장 좋은 결과를 보인다. 모든 경우에서 더 좋은 결과를 나타내는 것은 아니지만 대체적으로 좋은 결과를 보이는 이유는 돌연변이 과정에 있다고 할 수 있다. 돌연변이율이 높을 경우 변동이 심해서 최고의 값을 찾아내는 경우가 많았다. 전체적인 수렴성은 각각 첫 번째 알고리즘이 좋았으나 돌연변이율이 낮기 때문에 좋지 못한 쪽으로 수렴하는 경우도 많았다.

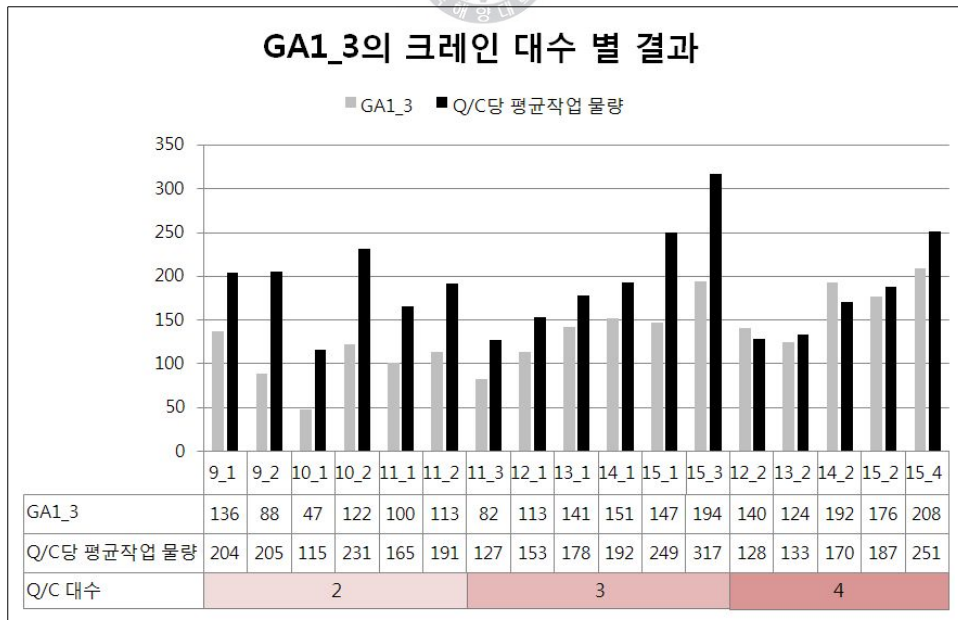


<그림 3-10> 유전 알고리즘 수행결과

그리고 해집단의 크기가 전체 해의 품질에 영향을 주었다. 위의 그래프는 해집단을 일괄적으로 30개로 적용한 알고리즘과 문제의 크기에 따라 해집단의 수를 늘려나간 GA1\_3의 비교이다. 문제의 크기가 클수록 GA1\_3의 성능이 더 좋았고, 세대를 거듭 할수록 비교적 최대값에 가까운 수렴을 보였다. 작업 지점수가 많아지면 탐색해야 할 공간이 넓어지기 때문에 해집단의 크기를 크게하여 알고리즘을 수행하여야 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 즉, 15 hatch 문제의 경우 GA1\_3이 더 좋은 값을 많이 찾을 수 있었다.

<표 3-7> GA3\_1의 상세결과

No.	QC 대수	작업 지점 수	듀얼 사이클 횟수	Q/C당 평균 작업 물량	계산 시간(초)
9_1	2	26	136	204	57
9_2	2	27	88	205	63
10_1	2	21	47	115	27
10_2	2	29	122	231	93
11_1	2	29	100	165	69
11_2	2	33	113	191	92
11_3	3	33	82	127	48
12_1	3	40	113	153	101
12_2	4	44	140	128	88
13_1	3	47	141	178	141
13_2	4	47	124	133	99
14_1	3	37	134	192	122
14_2	4	42	192	170	111
15_1	3	50	147	249	319
15_2	4	50	176	187	265
15_3	3	49	219	317	400
15_4	4	49	208	251	233



<그림 3-11> GA1\_3의 크레인 대수 별 수행결과

알고리즘 GA1\_3 의 상세 결과 살펴보면 전반적으로 Q/C당 작업 물량이 많을 수록 듀얼 사이클 횟수도 증가한다는 것을 알 수 있다. 하지만 9\_1, 9\_2, 10\_1, 10\_2 등의 경우에는 작업 물량에 비해서 듀얼 사이클 횟수가 상대적으로 적다. 위의 <그림3-11>을 살펴보면 이들 작업에 투입된 Q/C의 대수가 2대인 것을 알 수 있다. 크레인 대수가 적으면 Q/C 당 작업물량이 많아도 듀얼 사이클 횟수가 많이 늘어나지 않았다. 이것으로 보아 크레인 대수가 듀얼 사이클 횟수에 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

## 2) 타부 서치 실험 결과

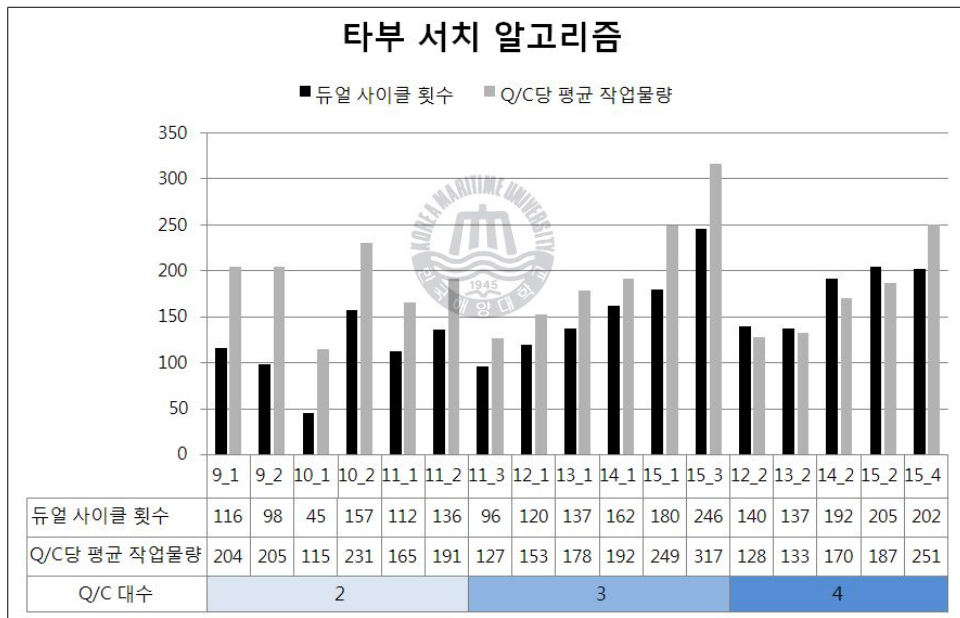
같은 문제를 타부 서치 알고리즘에 적용시켜 보았다.

<표 3-8> 타부 서치 실험 결과

No.	QC 대수	작업 지점 수	듀얼 사이클 횟수	Q/C당 평균 작업 물량	계산 시간(초)
9_1	2	26	116	204	3
9_2	2	27	98	205	2
10_1	2	21	45	115	0
10_2	2	29	157	231	9
11_1	2	29	112	165	6
11_2	2	33	136	191	11
11_3	3	33	96	127	7
12_1	3	40	120	153	45
12_2	4	44	94	128	30
13_1	3	47	145	178	226
13_2	4	47	95	133	100
14_1	3	37	162	192	35
14_2	4	42	113	170	17
15_1	3	50	180	249	376
15_2	4	50	205	187	373
15_3	3	49	246	317	379
15_4	4	49	202	251	41

타부 서치 알고리즘에서도 유전 알고리즘과 마찬가지로 9\_1, 9\_2 등 크레인

대수가 2대인 경우에는 다른 경우 보다 듀얼 사이클 횟수가 적다. 그리고 아래 그래프를 살펴보면 크레인 대수가 많아질수록 듀얼 사이클 횟수와 Q/C 당 평균 작업물량의 차이가 적어진다는 것을 알 수 있다. 특히, Q/C 대수가 4대인 경우 듀얼 사이클 횟수가 Q/C 당 평균 작업물량을 넘어서는 경우가 많다. 작업 크레인 4대일 경우 각각의 크레인의 한 번의 작업으로 최대 듀얼 사이클을 2번 만들어 낼 수 있기 때문이다. 따라서 듀얼 사이클 운영은 물량이 적고, 크레인이 적게 투입되는 작은 선형의 컨테이너 선박 보다는 규모가 큰 선형에 적합하다는 것을 알 수 있다.

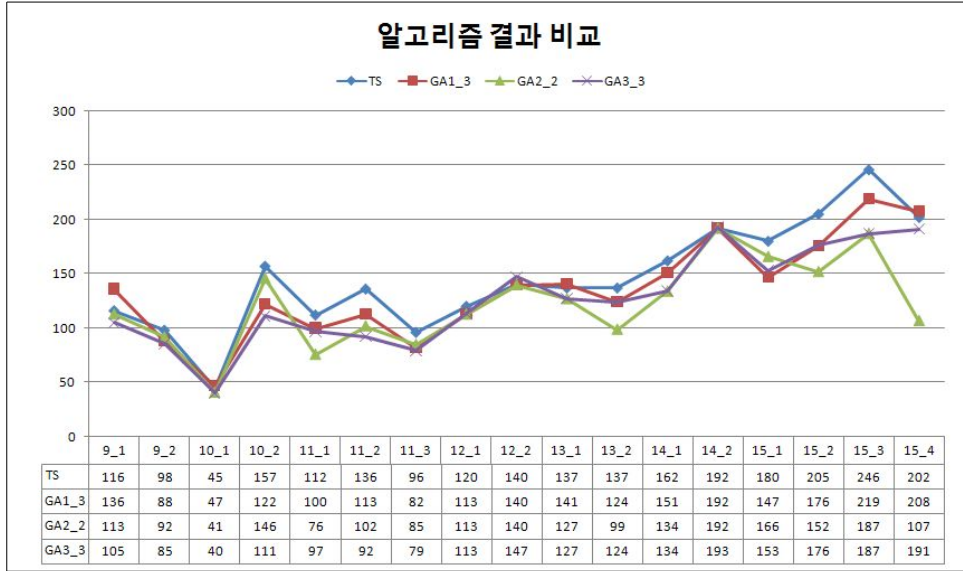


<그림 3-12> 타부서치 알고리즘 수행결과

### 3) 유전 알고리즘과 타부 서치 알고리즘의 비교

각각의 유전 알고리즘 중 좋은 결과를 보인 3가지의 알고리즘 결과와 타부서치 알고리즘의 결과를 비교해 보았다.





<그림 3-13> 알고리즘 결과 비교

위의 4가지 알고리즘을 비교한 결과를 살펴보면 각각 비슷한 결과를 보였다. 하지만 유전 알고리즘의 경우에 해의 변화가 심하고, 간섭 제약을 위반하는 해가 많이 생성되기 때문에 해를 찾는 과정이 효율적이지 못한 경우도 있었다. 타부 서치의 경우에는 이웃 해를 조합하는 과정이 길어서 작업 지점의 수가 많아지면 급격히 느려지는 단점이 있었다. 그러나 현재 최고 해에서 이웃 해를 정밀하게 탐색하는 과정에서 유전 알고리즘과 같은 확률적인 부분은 없기 때문에 비교적 꾸준한 결과를 보인다.

두 알고리즘 모두 수행한 결과 양·적하 작업 순서의 변경으로 듀얼 사이클 횟수를 증가시킬 수 있었다. 하지만 이러한 작업 일정계획과 동일하게 작업 할 수는 없을 것이다. 왜냐하면 일반적으로 야드에서 적하 컨테이너의 이송은 양하 보다 다소 시간이 걸리는 편이기 때문이다. 듀얼 사이클 운영은 양·적하 물량을 동시에 처리하기 때문에 두 크레인의 속도를 맞추는 것이 무엇보다 중요하다. 하지만 야드에서 적하 컨테이너를 이송하는 시간이 너무 오래 걸려 양하 속도까지 느려지게 된다면 듀얼 사이클을 사용하는 것이 오히려 전체작업 속도

를 저하 시킬 수도 있을 것이다. 하지만 논문에서 제시한 듀얼 사이클을 위한 Q/C 일정계획의 수정이 완벽하게 적용될 수는 없다 하더라도 기존의 방식으로 는 듀얼 사이클을 적용하기 힘들 것이다. 그렇기 때문에 제시한 알고리즘을 통한 Q/C 일정계획과 함께 야드 상황을 고려하여 듀얼 사이클을 적용한다면 작업 생산성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.



## 제 4 장 결 론

최근 늘어나는 물동량에 대비하기 위해서 컨테이너 터미널에서는 새로운 시설에 대한 투자와 함께 운영기술로 더블 사이클이나 듀얼 사이클을 고려하게 될 것이다. 그러므로 Y/T 듀얼 사이클은 생산성을 중요하게 생각하는 컨테이너 터미널의 특성상 많은 연구가 이루어질 것으로 기대한다.

본 연구에서 듀얼 사이클 횟수를 최대화하기 위한 수리적 모형을 제시하고, 타부 서치와 유전 알고리즘으로 문제를 풀어 보았다. 실험 결과 모선의 작업 물량 분포에 따라 Q/C 일정 계획의 변화만으로 Y/T 듀얼 사이클이 많이 일어날 수 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 크레인 투입 대수가 적은 선형에는 많은 효과를 보기 어렵다는 것을 알 수 있었다.

연구의 한계점으로는 듀얼 사이클 운영의 효율성이 정확히 얼마나 되는지 측정하지 못한 것이다. 즉, 듀얼 사이클 1회당 Y/T의 이용율이 증가하지만 이것이 전체 작업 시간에 어느 정도의 이점을 주는지 측정해야 한다. 실제로 야드의 구조에 따라 듀얼 사이클 효율성의 편차는 클 것으로 예상된다. 왜냐하면 Y/T 풀링이 잘된다고 하더라도 야드의 상태가 복잡하거나 듀얼 사이클의 대상이 되는 모선의 적·양하 컨테이너의 위치에 따라 효율성이 달라질 것이기 때문이다. 그러므로 야드의 구조에 따른 듀얼 사이클 운영방법에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.

위에서 제시한 해법에서는 확정적인 방법으로 즉, Y/T나 Q/C가 대기하는 경우는 없다고 가정하고 문제를 풀었다. 하지만 좀 더 현실에 맞는 문제를 생각해 본다면 확률적인 모형을 추가적으로 연구하여야 한다. 또한 Y/T 듀얼 사이클과 Q/C 더블 사이클을 동시에 사용하는 방법과 서로 다른 선박에 대한 Y/T 듀얼 사이클도 생각해 볼 수 있다. 듀얼 사이클과 더블 사이클을 함께 사용하는 방법도 연구해 본다면 Y/T의 효율성을 더 높일 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

김여근, 윤복식, 이상복(1997), “메타 휴리스틱”, 영지문화사

문병로(2008), “쉽게 배우는 유전 알고리즘”, 한빛미디어

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

신재영, 이광인, 하태영(1998), "컨테이너 선적을 위한 겐트리 크레인 작업 스케줄링", 한국해양대학교 부설 물류연구센터 논문집, 제2집, pp.29-37

신재영, 이채민(2002), “효율적인 컨테이너 터미널 운영 계획 작성을 위한 통합 시스템 개발”, 한국지능정보시스템학회논문지, 제8권, 제2호, pp.71-89

신재영, 정창윤(2008), “컨테이너 터미널의 효율적인 선적 작업을 위한 Dual Cycle 계획”, 2008년 한국항해항만학회 춘계학술대회논문집

최용석, 하태영(2005), “운영시스템의 도입에 따른 컨테이너터미널의 생산성 향상 평가”, 한국항해항만학회지, 제29권, 제1호, pp.499-508

최용석, 김우선, 하태영(2006), “컨테이너터미널 리모델링 기술검토 : 부산항 사례”, 제30권, 제6호, pp.499-508

- Ambrosino, D., Sciomachen, A., Tanfani, E.(2004), "Stowing a containership: the master bay plan problem", *Transportation Research Part A*, vol.38, pp.81–99
- Zhang, H., Kim, K.H.(2008), "Maximizing the number of dual–cycle operations of quay crane in container terminals", *Computers & Industrial Engineering*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2008.09.008>
- 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
- Goodchild, A.V., Daganzo, C.F.(2007), "Crane double cycling in container ports: Planning methods and evaluation", *Transportation research part B*, vol.41, pp.875–891
- Kim, K.H., Park, Y.M.(2003), "A Crane scheduling method for port container terminals", *European Journal of Operational Research*, vol.156, No.3, pp.752–768
- Glover, F., Laguna, M.(1997), "Tabu Search", Kluwer Academic Publishers
- Moccia, L., Cordeau, J. Gaudioso, M., Laporte, G.(2003), "A Branch–and–Cut Algorithm for the Quay Crane Scheduling Problem in a Container Terminal", *Naval research logistics*, vol.53, No.3, pp.752–768

Lee, S.Y., Lee, C.H.(2007), "A Study on the RTLS based Dynamic Planning of Yard Tractors in Container Terminals", Journal of Korean Navigation and Port Research, vol.31, No.2, pp.141-149

Sammarra, M., Cordeau, J., Laporte, G. Monaco, M.F.(2007), "A tabu search heuristic for the quay crane scheduling problem", vol.10, No.4/5, pp.327-336



## 감사의 글

대학원과정에서 많은 가르침을 주시고 논문 발표 전날까지도 계속 저에게 도움을 주셨던 신재영 교수님께 깊은 감사의 말을 전합니다. 논문의 심사위원장을 맡아 주신 신창훈 교수님, 논문의 세부적인 내용까지 꼼꼼히 지적해 주시고 나아가야 할 방향을 제시해 주신 이철영 교수님께도 감사드립니다. 실험실 생활동안 저에게 많은 도움을 주시고 바쁜 업무 중에도 계속 저희 실험실을 챙겨 주시는 모든 선배님들께 감사드리고, 학교에서 저를 도와준 순철, 성인, 상진, 종원 에게도 고맙다는 말을 전합니다. 실험실에서 항상 많이 떠들고 시끄러운 가운데 옆방에서 많이 참아준 윤옥, 수현이에게 고맙다는 말을 전합니다.

또한, 학부생활 때부터 저에게 여러 가지로 신경 써 주시고 마음 써주신 제일 고마운 선배 춘식이형에게도 감사드립니다. 고향 후배로 항상 잘 따라준 민지, 육진이에게도 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

항상 저의 길을 묵묵히 뒤에서 지원해준 형, 저를 낳아주시고 키워주신 아버지, 어머니께 감사드립니다.

2009년 1월

정창윤