

컨테이너 터미널의 효율적인 선적 작업을 위한 Dual Cycle 계획

정창윤* · 신재영†

*한국해양대학교 물류시스템학과 대학원, †한국해양대학교 물류시스템학과 교수

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

Chang Yun Chung* · Jae Young Shin†

*Graduate school of National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

†Dept. of Logistics Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 컨테이너 터미널의 주요 생산성 지표는 안벽에서의 작업 효율성이라 할 수 있다. 안벽에서는 Q/C(Quay Crane)이라는 장비가 접안 선박의 컨테이너를 하역한다. Q/C의 작업 생산성을 높이기 위해서는 좀 더 효율적인 Y/T(Yard Tractor)운영 방식이 필요하다. 기존 작업 방식(싱글 사이클)에서는 양하작업 이후 적하 작업이 이루어진다. 듀얼 사이클이란 양하작업과 적하 작업을 동시에 함으로써 안벽 생산성과 야드 트랙터의 이용률을 높이는 방법이다. 터미널에서 듀얼 사이클의 도입은 추가적인 장비의 도입 없이 운영에서의 변화만을 요구한다. 즉, 기존의 dedicate 시스템에서 pooling 시스템으로의 변화가 필요하다. 본 논문에서는 듀얼 사이클을 이용하는 항만에서의 작업 효율성을 증대시키기 위한 선적 계획 방법을 제시하고자 한다. 이 문제를 풀기위해 유전 알고리즘과 타부서치를 제시하였다.

핵심용어 : 컨테이너 터미널, 더블 사이클, 듀얼 사이클, 크레인 일정계획, 유전 알고리즘, 타부 서치

Abstract : At container terminals, a major measurement of productivity can be work-efficiency in quay-side. At the apron, containers are loaded onto the ship and unloaded to apron by Q/C(Quay Crane). For improving the productivity of quay crane, the more efficient Y/T(Yard Tractor) operation method is necessary in container terminals. Between quay-side and yard area, current transferring methods 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 efficient ship loading and unloading plan in container terminals, which use the dual-cycling. We propose genetic and tabu search algorithm for this problem.

Key words : container terminal, double cycle, dual cycle, crane scheduling, genetic algorithm, tabu search

1. 서 론

컨테이너 터미널의 주요 생산성 지표는 안벽에서의 작업 효율성이라 할 수 있다. 터미널에서는 안벽 작업의 효율성을 높여서 타 터미널과의 경쟁에서 우위를 확보하고자 한다. 왜냐하면 선사사 기항 항만을 결정하는 기준에서 가장 중요한 기준중 하나가 안벽 생산성과 밀접한 관련이 있는 ship turnaround time 이기 때문이다.

안벽에서는 안벽크레인(Quay Crane:Q/C)은 접안한 선박의 컨테이너를 양하하여 야드 트랙터(Yard Tractor:Y/T)에 전해 주고, 야드에서 이송된 컨테이너를 적하하는 작업을 하게 된다. 보통 양하가 모두 이루어진 다음 적하가 이루어지게 되어 있는데 이러한 작업 방식을 싱글 사이클이라 부른다. 하지만 기존의 싱글 사이클 방식으로는 Y/T의 대수 증가나 Q/C의 대수 증가로 인한 효율 향상 이외에는 운영상의 효율성 증가를 기대하기 어렵다. 하지만 추가적인 장비 구입 없이 운영상의 변화만으로

작업 효율을 증가시킬 수 있는 방법이 있다. 바로 하역 작업 시 더블 사이클 방식을 이용하는 것이다. 더블 사이클 방식은 양적하 작업을 동시에 수행하여 크레인의 생산성 및 Y/T의 이용률을 높이는 것이다. 더블 사이클은 운영되는 형태에 따라 두 가지로 나뉜다. 하나는 Fig. 1과 같이 단일 Q/C에서 하나의 bay에 양하와 적하를 동시에 하는 것이다. 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 있고, 더블 사이클과는 다른 방식으로 구분된다.

최근 컨테이너 터미널의 효율성 향상을 목적으로 하는 여러 연구보고서에서 더블 사이클 운영이 일부 선진 터미널에서는 이미 시행되고 있고, 우리나라 터미널에 대해서도 도입을 제안하고 있다(최 등, 2005; 최 등, 2006). Goodchild and Daganzo(2006)는 크레인 더블 사이클 운영의 적양하 작업순서를 결정하기 위한 효율적인 알고리즘인 proximal stack strategy를 제시하고

* 대표저자 : 정창윤(정회원), ccy1443@hhu.ac.kr 010-6400-7974

† 교신저자 : 신재영 shinjy@hhu.ac.kr 051)410-4335

그것을 Johnson 규칙과 비교하였다. 또한 이들은 크레인 더블 사이클 운영의 도입이 컨테이너 터미널에 미치는 영향을 평가하고, 스트레들 캐리어를 사용하는 야드에서의 단일 서버 대기 행렬 모형을 사용하여 싱글 사이클과 더블 사이클에서의 Y/T 대수를 비교하였다(Goodchild and Daganzo, 2007). 송(2007)은 앞서 발표된 외국 논문들은 우리나라 실정에 맞지 않다고 판단하여 작업 모션의 컨테이너 적재 상황에 따라 더블 사이클 최적 시작지점을 산출하는 공식을 제시하고, 이를 위한 두 가지 야드 운영방안을 제안하였다. Zhang and Kim(2009)은 GoodChild and Daganzo(2006)의 연구를 확장하여 수정된 수리적 모형을 제시하고, Johnson 규칙을 변형한 새로운 하이브리드 발견적 해법을 제시하였다. 앞서 발표된 논문들은 모두 하나의 Q/C에서 더블 사이클이 일어나는 경우 더블 사이클 수행 횟수를 최대화하는 문제를 다루고 있다. 그러나 실제 터미널에서는 단일 Q/C의 더블 사이클 문제와 함께 Q/C간 Y/T 듀얼 사이클 문제가 고려될 때 더블 사이클로 인한 높은 효과를 볼 수 있다. 본 논문에서는 다수의 Q/C 간에 양적하 작업을 동기화함으로써 Y/T의 공차 운행율을 줄이는 Y/T 듀얼 사이클 문제를 다루고자 한다.

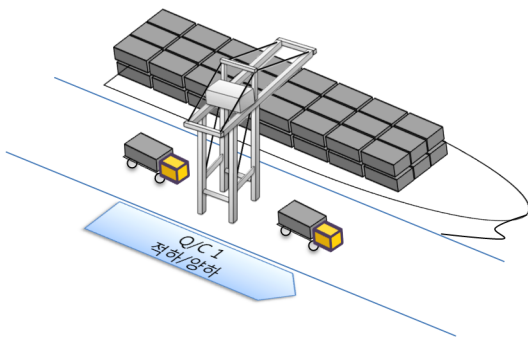


Fig. 1 Unloading and loading with double cycling

2. Y/T 듀얼 사이클

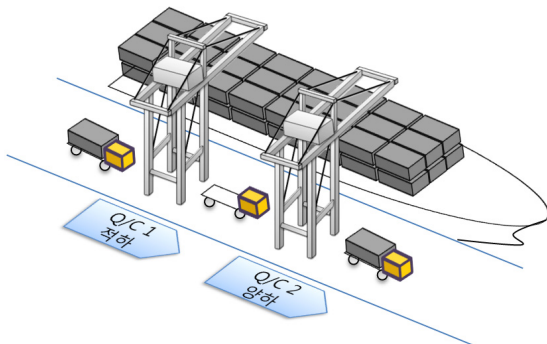


Fig. 2 Unloading and loading with dual cycling

Y/T 듀얼 사이클은 서로 다른 bay간에 서로 다른 Q/C의 작업이 동시에 적하, 양하 순서를 가질 때 가능하다. 즉, Fig. 2처럼 진행 방향에 맞게 적하 작업과 양하 작업이 동시에 이루어

져야한다. 또한, 가능하다면 서로 다른 선석의 선박에 대해서도 듀얼 사이클 작업이 가능하다. 이러한 방식의 작업이 원활하게 이루어지기 위해서는 야드에서의 추가적인 정체가 없어야 하고 두 크레인 간의 작업 속도도 맞아야 한다. 그리고 Y/T의 운행 방식을 기존의 dedicated 방식에서 pooling 방식으로 전환 하여야 한다. 본 논문에서는 기존의 Q/C 일정계획의 일반적인 가정에 추가적으로 Y/T 풀링이 완벽하다고 가정하겠다.

2.1 문제의 설정

본 논문에서 고려한 가정 및 제약조건은 다음과 같다.

- 크레인의 작업은 Hatch 단위로 이루어진다.
- 하나의 Hatch에 대해서 deck와 hold의 물량을 각각 상이한 두 대의 크레인이 분리하여 작업 할 수 있다.
- 양하 작업시에는 deck의 작업이 hold의 작업에 선행되며, 적하 작업시에는 그 반대로 작업이 이루어진다.
- 한 대의 크레인이 담당하는 Hatch는 연속되어 있어야 하며, 크레인 간에 작업이 교차되지 않는다.
- 크레인 간의 간섭을 고려하여 크레인 간에는 최소 작업거리를 유지한다.(1Hatch)
- 크레인의 성능은 동일한 것으로 간주한다.(작업시간은 컨테이너 개수에 비례하고 확정적이다.)
- Y/T의 풀링은 듀얼 사이클 운영에 지장이 없을 정도이다.

본 논문에서는 위의 제약사항 하에서 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.

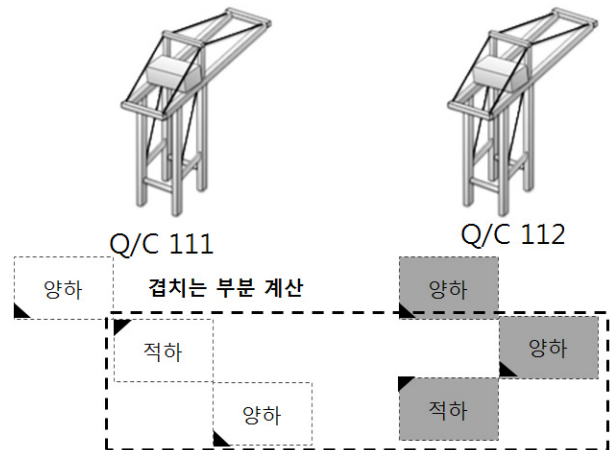


Fig. 3 Work allocation with dual cycle

3. 문제의 해법

기존의 선행 연구를 살펴보면 크레인 작업순서 배정 계획을 계량적으로 모형화 하고, 다양한 휴리스틱 알고리즘을 이용하여 크레인 작업 시간을 최소화하는 문제를 다루고 있다. Daganzo(1989)

는 처음으로 여러 대의 선박을 고려하여 선박의 배이에 할당하는 크레인 수를 최적화하는 알고리즘을 제안하였다. 그 후 Peterkofsky and Daganzo(1990)는 양하 시간의 합을 최소화하기 위하여 branch and bound 알고리즘을 사용하였다. Kim and Park(2004)은 크레인 일정계획에 대한 수리적 모형을 제시하고 branch and bound 알고리즘과 GRASP 알고리즘을 이용해서 해법을 제시하였다. Moccia et al.(2005)은 Kim and Park(2004)의 수리모형을 수정하고 branch and cut 알고리즘을 이용하여 해법을 개선하였고, Sammarra et al.(2007)은 타부 서치를 이용하여 해법의 성능을 더욱 개선하였다.

Tavakkoli-Maghoaddam et al.(2009)는 선석계획을 고려하여 여러 대의 선박에 Q/C를 할당하는 문제를 제시하고, GA를 사용하여 Q/C 작업 완료시간을 최소화하는 알고리즘을 제시하였다. Lee et al.(2008a, 2008b)은 인접한 크레인간의 간섭을 배제하는 Q/C일정계획의 수리적 모형을 제시하고 해법으로 유전알고리즘을 적용하였다. 그 외에도 Lim et al.(2004), Zhu and Lim(2006), Liu et al.(2006)은 더블 사이클이나 듀얼 사이클을 고려하지 않은 Q/C 일정계획에 대해 연구하였다.

위의 논문은 정해진 작업을 Q/C에 할당하여 작업 완료시간을 줄이고 각각의 크레인에 작업량을 고르게 분배하는 것이 목적이었지만, 본 논문은 Y/T 듀얼 사이클이 많이 일어나게 하기 위해서 적하와 양하 작업이 겹쳐지는 시간을 최대화 하는 것이다. 이를 위하여 필자는 유전 알고리즘과 타부 서치 알고리즘을 서로 비교하겠다.

3.1 유전 알고리즘

1) 유전자 구조

특정 크레인의 작업순서를 $qc_1 = [11 \ 12 \ 13 \ 14 \ 21 \ 22 \ 23 \ 24]$ 로 정의 한다면 전체 크레인이 3대일 때 다음과 같은 모양의 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

Fig. 4 An illustration of Chromosome

크레인 작업 순서에서 숫자의 의미는 위에서 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.

$$f(x) = Dual_cycle \text{ 횟수} \tag{1}$$

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

```

n개의 초기 염색체 생성;
repeat{
    적응도 평가;
    selection(확률 바퀴 방법);
    crossover(rate);
    mutation(rate);
}until(종료 조건)
    
```

Fig. 5 Genetic algorithm structure

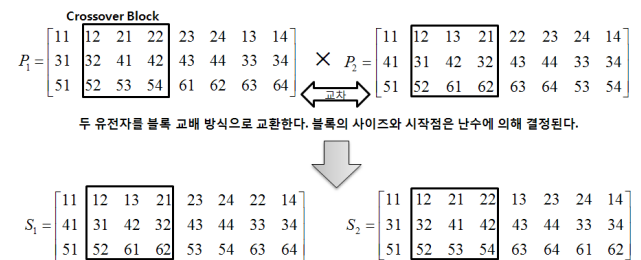
3) 유전 연산자

본 연구에서는 유전 연산자로 교배와 돌연변이연산을 사용한 다. 추가적으로 교배와 돌연변이연산에 따른 실현 불가능 해를 제거하기 위해 해를 수정하고 벌금함수를 적용하는 방법으로 다음 세대를 선별한다.

• 교차(Crossover)

교차는 우수한 두 유전자를 이용하여 새로운 유전자를 생성하는 유전 알고리즘의 대표적인 연산방법이다. 첫 번째 연산자는 부모 유전자에서 block을 설정하여 그것을 서로 바꾸는 block 교차 방법이다. block 교차 시 block의 크기와 block의 위치는 난수에 의해서 결정된다. 이것은 TSP(Travelling Salesman Problem)에서 사용하는 부분 사상교차와 동일한 방법이다.

[교차_1]



[교차_2]

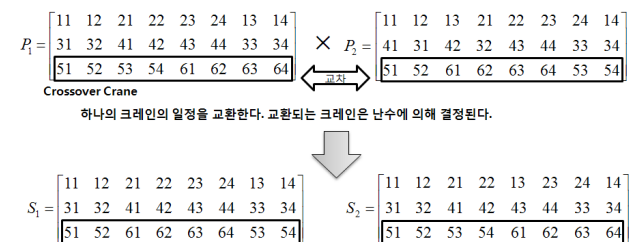


Fig. 6 Two crossover operations

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)

유전 알고리즘은 세대가 거듭 될수록 해가 수렴하게 되는데 이렇게 되면 다양성이 떨어지면서 지역해로 빠지게 된다. 이를 피하기 위해서 돌연변이 연산을 해야 한다. 본 논문에서는 돌연변이 연산을 위해서 아래 그림과 같이 두 가지 돌연변이 연산을 제안한다. 첫 번째 방법은 먼저 난수를 발생시켜 크레인을 선택하고, 선택되어진 크레인의 작업순서를 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.



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

Fig. 7 Two mutation operations

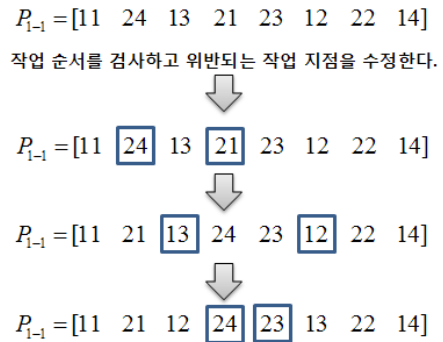
두 번째 방법은 하나의 크레인의 작업순서 중 임의의 두 작업을 교환하는 방법을 사용한다. 두 번째 돌연변이 연산의 경우 두 작업의 교환만으로도 완전히 다른 해가 구성되기 때문에 유전 알고리즘의 돌연변이 연산의 역할을 잘 수행해 줄 수 있다.

4) 적합도 평가와 수정

적합도 평가는 평가함수를 통해서 적응도를 계산하고 적응도

의 크기에 따라 다음 세대로의 진화 확률이 높은 확률 바퀴 방법을 사용하였다. 위에서 설명한 교배와 돌연변이 방법을 그대로 문제에 적용하면 제약 사항을 만족하지 못하는 해가 점차 많아지게 되는데 단일 Q/C의 작업순서가 제약을 위반한다면 Fig. 8의 위의 그림 같은 방식으로 해결한다. 그리고 한 Hatch를 서로 다른 Q/C가 담당하게 되고, 작업이 순서대로 일어나지 않을 경우 작업 순서 교정을 위해서는 Fig. 8의 아래 그림과 같이 제약에 위반되는 작업의 선후 관계를 수정하게 된다.

[단일 Q/C의 작업순서 교정]



[서로 다른 Q/C의 작업 순서 교정]

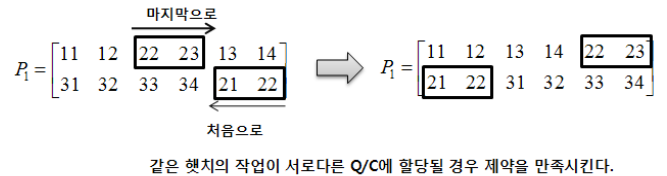


Fig. 8 Two modification procedure

위의 두 가지 방법의 수정을 하고도 크레인의 간섭이 일어날 수 있다. 이러한 유전자를 다음 세대로 선택되는 확률을 줄이기 위해서 벌금 함수를 다음과 같이 부과한다.

$$eval(x) = \begin{cases} f(x), & x \in F \\ f(x) + w \times penalty(x), & x \notin F \end{cases} \quad (2)$$

본 논문에서는 이웃 하는 크레인의 작업은 반드시 1 Hatch의 거리로 떨어져 있어야 간섭이 없는 것으로 가정하였다. 따라서 penalty(x)는 x가 제약(F)을 만족하면 0(간섭이 없는 경우), 그렇지 않으면 간섭이 일어나는 만큼의 값을 가진다. 거기에 음의 가중치(w)를 부과하여 적합도를 평가한다.

5) 선택(Selection)

선택은 유전 알고리즘에서 다음 세대로 진화할 유전자를 선택하는 것이다. 위의 방법으로 적합도를 평가하고 확률적으로 적합도가 높은 유전자를 다음 세대로 진화시키기 위해서 확률 바퀴 방법을 사용하였다.

3.2 타부 서치 알고리즘

타부 서치 알고리즘은 Fig. 9와 같은 방식으로 설계 되었다. 처음 초기화단계에는 초기 해를 생성한다. 초기해의 듀얼 사이클 수행 횟수를 최적해로 설정하고, 타부 리스트(T)를 초기화 한다. 다음 단계로 각 크레인의 작업 순서의 이웃 해의 집합(N_q)을 찾는다. 이웃 해는 현재 해에서 2개의 작업 순서를 바꿀 때 제약을 위반하지 않고, 타부리스트(T)에 포함 되지 않아야 한다.

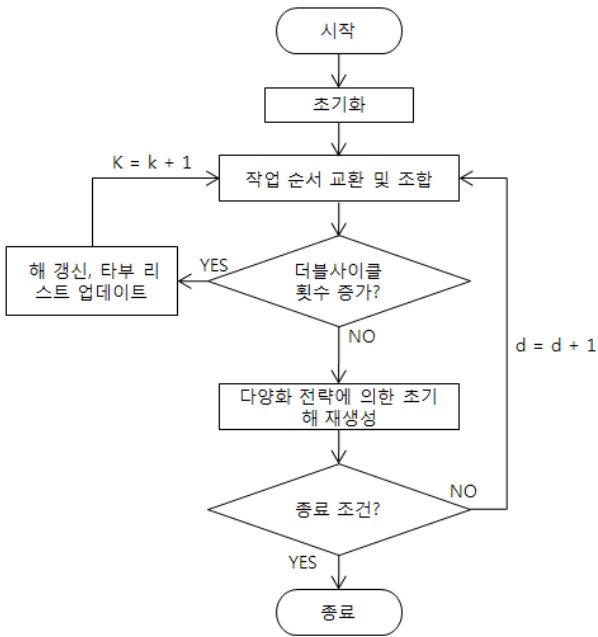


Fig. 9 Tabu search algorithm

조합한 해 중에 평가 함수 값이 가장 높은 이웃 해(N_s^*)를 찾고 새로운 해로 갱신한다. 타부리스트(T)를 업데이트 하고, 다시 작업 순서를 조합하여 새로운 이웃 해를 생성한다. 만약 더 좋은 해가 없다면 다양화 전략에 의하여 새로운 해를 생성한다.

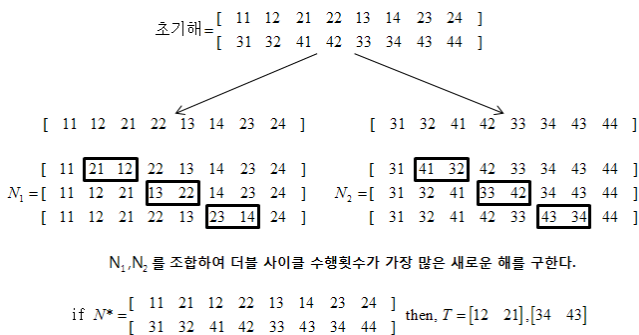


Fig. 10 Searching neighborhood solutions and updating tabu list

위의 Fig. 10에서는 초기해의 구성이 각 크레인에 할당된 양

하 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 이웃해를 찾는 방법으로 한다. 새로운 해는 기존의 방식인 양하 작업과 적하 작업을 구분해서 수행하는 방식에서 해치 별로 양하 후 바로 적하를 하는 순서로 해를 구성한다.

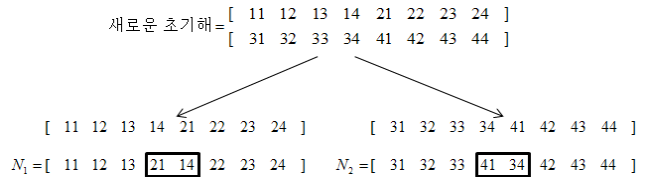


Fig. 11 New initial solution using diversification

실험을 통해 다양한 문제에 적용시켜 본 결과 기존의 방식인 양하 작업과 적하 작업을 구분해서 해를 구성하게 되면 듀얼 사이클 기회가 거의 생겨나지 않았다. 하지만 양하와 적하를 구분하지 않고 초기해를 구성할 경우 듀얼 사이클 횟수가 더 쉽게 증가하는 경향이 있었다.

4. 실험 및 분석

4.1 유전 알고리즘 실험 결과

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

Table 1 The number of containers in each hatch(workload)

	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

유전자의 수는 30, 반복 횟수는 50, 교배율은 0.25, 돌연변이율은 0.05, 크레인 대수는 2대로 하였다. 벌금 함수는 간섭이 발생하는 횟수만큼을 적합도 식에서 차감하여서 계산하였다.

Fig. 12를 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 증가 시켰다. 이는 37회 만큼의 작업에서 Y/T의 이용률이 높아졌다는 것을 의미한다.

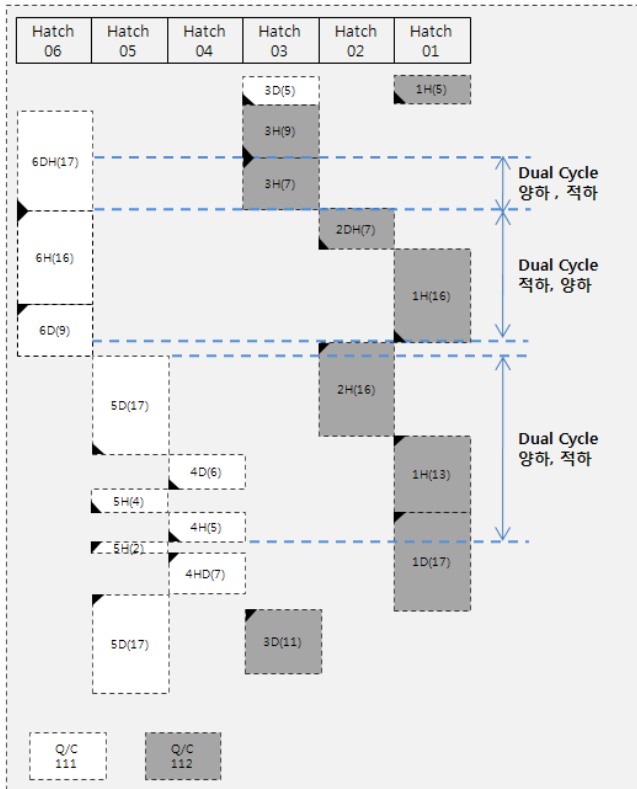


Fig. 12 The result of computation experiment

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 많은 실험을 통해서 적용시켜본 연산자들 가운데 전체적으로 해의 수렴성이 좋은 연산자와 파라미터를 결정하여야한다. 따라서 다음과 같은 3가지의 유전 알고리즘을 구성하였다.

Table 2 Three types of genetic algorithm

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

Table 2와 같이 구성된 알고리즘에 한 세대의 크기를 50, 70, 80 개로 변화 시키면서 해의 수렴성을 평가 하였다. 일반적으로 세대의 크기가 클수록 해의 질은 높아졌지만 수행 시간이 급격히 늘어나는 단점이 있었다. 실험결과 GA1 방법에 교차율은 0.45, 돌연변이율 0.25가 가장 좋은 성능을 보였다. 결과는 다음 Table 3과 같다.

Table 3 Result of genetic algorithm

No.	QC 대수	작업 지점 수	듀얼 사이클 횟수	Q/C당 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

알고리즘 상세 결과 살펴보면 전반적으로 Q/C당 작업 물량이 많을수록 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 Table 3을 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.

4.2 타부 서치 실험 결과

같은 문제를 타부 서치 알고리즘에 적용시켜 보았다.

Table 4 Result of Tabu search

No.	QC 대수	작업 지점 수	듀얼 사이클 횟수	Q/C당 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	140	128	30
13_1	3	47	137	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	138	187	373
15_3	3	49	246	317	379
15_4	4	49	150	251	41

타부 서치 알고리즘에서도 유전 알고리즘과 마찬가지로 9_1, 9_2 등 크레인 대수가 2대인 경우에는 다른 경우 보다 듀얼 사이클 횟수가 적다. 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 선박보다는 규모가 큰 선형에 적합하다는 것을 알 수 있다. 물론 현실 상황에서는 실험결과와 같은 횟수의 듀얼 사이클 운영을 할 수는 없을 것이다. 왜냐하면 Y/T의 운행 속도와 Q/C의 양적 가속도의 차이와 야드의 상황에 따라서 많은 변수가 있기 때문이다.

4.3 결과의 비교

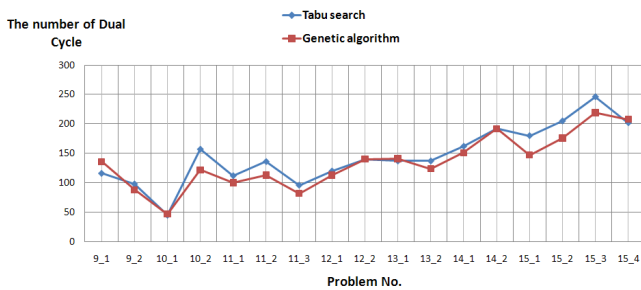


Fig. 13 Comparison between solutions with genetic algorithm and tabu search

위의 유전 알고리즘과 타부 서치를 비교해 보면 듀얼 사이클 횟수 측면에서 각각 비슷한 결과를 보였다. 하지만 유전 알고리즘의 경우에 해의 변화가 심하고, 간접 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 확실적인 부분은 없기 때문에 비교적 꾸준한 결과를 보인다.

5. 결론

본 연구에서 Y/T 듀얼 사이클을 위해 유전 알고리즘과 타부 서치 알고리즘을 제시하였다. 실험 결과 모선의 작업 물량 분포에 따라 Q/C 일정 계획의 변화만으로 Y/T 듀얼 사이클이 많이 일어날 수 있다는 것을 알 수 있었다.

연구의 한계점으로는 듀얼 사이클 횟수의 증가로 인해 Y/T 대수가 얼마나 줄어들 수 있을지에 대한 분석이 필요하다. 또한, Y/T풀링이 잘된다고 하더라도 야드의 상황에 따라 Q/C가 Y/T를 기다리는 상황이 벌어 질 수 있다. 위에서 제시한 해법에서는 확정적인 방법으로 즉, Y/T가 대기하는 경우는 없다고

가정하고 문제를 풀었다. 하지만 좀 더 현실에 맞는 문제를 생각해 본다면 확실적인 모형을 추가하여야 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. 마지막으로 듀얼 사이클이나 더블 사이클을 사용할 때 적합한 야드의 운영방식은 어떻게 되는지 연구해 봐야 한다.

참고 문헌

- [1] 송장호(2007), “컨테이너터미널에서의 Double cycle 하역 기법의 최적 운영방안”, 한국해양대학교 석사학위논문.
- [2] 최용석, 하태영(2005), “운영시스템의 도입에 따른 컨테이너터미널의 생산성 향상 평가”, 한국항해항만학회지, 제29권, 제1호, pp.97-104.
- [3] 최용석, 김우선, 하태영(2006), “컨테이너터미널 리모델링 기술검토 : 부산항 사례, 한국항해항만학회지”, 제30권, 제6호, pp. 499-508.
- [4] Daganzo, C. F.(1989), “The crane scheduling problem”, Transportation research part B, Vol.23, pp.197-175.
- [5] Goodchild, A. V., Daganzo, C. F.(2006), “Double-Cycling Strategies for Container Ships and Their Effect on Ship Loading and Unloading Operations”, Transportation Science. Vol.40, No.4, pp.473-483.
- [6] 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.
- [7] Kim, K. H., Park, Y. M.(2004), “A Crane scheduling method for port container terminals”, European Journal of Operational Research, Vol.156, No.3, pp.752-768.
- [8] Lee, D.-H., Wang, H. Q., Miao, L.(2008a), “Quay crane scheduling with non-interference constraints in port container terminals”, Transportation Research part E, Vol.44, No.1, pp.124-135.
- [9] Lee, D.-H., Wang, H. Q., Miao, L.(2008b), “Quay crane scheduling with handling priority in port container terminals”, Engineering Optimization, Vol.40, No.2, pp.179-189.
- [10] Lim, A., Rodrigues, B., Xiao, F., and Zhu, Y.(2004), “Crane scheduling with spatial constraints”, Naval research logistics, Vol.51, No.3, pp.386-406.
- [11] Liu, J., Wan, Y., Wang, L.(2006), “Quay crane scheduling at container terminals to minimize the maximum relative tardiness of vessel departures”, Naval research logistics, Vol.53, No.1, pp.60-74.
- [12] Moccia, L., Cordeau, J., Gaudioso, M., and Laporte, G.(2006), “A Branch-and-Cut Algorithm for the Quay Crane Scheduling Problem in a Container Terminal”,

Naval research logistics, Vol.53, No.1, pp.45-59.

- [13] Peterkofsky, R. I., Daganzo, C. F.(1990), "A branch and bound solution method for the crane scheduling problem", Transportation research part B, Vol.24,
- [14] Sammarra, M., Cordeau, J., Laporte, G., and Monaco, M. F.(2007), "A tabu search heuristic for the quay crane scheduling problem", Journal of Scheduling, Vol.10, No.4/5, pp.327-336.
- [15] Zhang, H., Kim, K. H.(2009), "Maximizing the number of dual-cycle operations of quay cranes in container terminals", Computers & Industrial Engineering, Vol. 56, No.3, pp.979-992.
- [16] Zhu, Y., Lim, A.(2006), "Crane scheduling with non-crossing constraint", Journal of the Operational Research Society, Vol.57, pp.1464-1471.

원고접수일 : 2009년 8월 10일
심사완료일 : 2009년 10월 19일
원고채택일 : 2009년 10월 21일