

컨테이너 터미널에서 일반부두와 양현부두의 본선작업 완료시간 비교 연구

A Comparison of Operational Productivity between Conventional berth and Indented berth in Container Terminals

정다훈*, 박영만** 이병권*, 김갑환*

* 부산대학교 산업공학과

** 해군사관학교 경영학과

{youngu, ymanpark, errorplus, kapkim}@pusan.ac.kr,

Abstract

최근 컨테이너 선박의 대형화는 물동량을 크게 증가 시켰으며, 이로 인해 컨테이너 터미널에서는 규모의 경제를 달성하고, 선사의 요구를 만족시키기 위해 노력하고 있다. 이에 대한 대안이 양현부두(Indented berth)의 등장이다. 양현부두에는 대형 컨테이너선의 물량을 신속히 처리하기 위해 선석에서 컨테이너를 취급하는 장비인 안벽크레인(Quay Crane : QC)의 작업 대수가 일반부두(Conventional berth)보다 많이 할당될 수 있다. 본 연구에서는 일반부두와 양현부두의 작업 생산성을 비교하였다. 이를 위하여 탐색기법인 GRASP(Greedy Randomized Adaptive Search Procedure)를 적용한 안벽크레인 일정계획 알고리즘을 이용하였다. 또한 컨테이너 터미널의 실제 자료를 이용하여 두 가지 형태의 부두에서의 본선작업 완료시간을 비교 하였다.

1. 서론

컨테이너 터미널은 하역, 보관, 환적, 운송이 동시에 이루어지는 대표적인 종합 물류 기지라고 할 수 있다. 최근 컨테이너 선박의 대형화는 물동량을 크게 증가 시켰으며, 이로 인해 항만 간에 선사 및 화물 유치경쟁이 치열하게 전개되고 있다. 이와 같은 항만 경쟁에서 앞서 나가기 위해서 항만운영자들은 컨테이너 터미널의 생산성을 향상시키기 위하여 노력하고 있다. 즉, 대형 컨테이너선의 정박시간을 줄이기 위해 노력하고 있다. 이에 대한 노력으로 양현부두(Indented berth)의 등장과 양현하역시스템의 개발이다. 따라서 일반부두(Conventional berth)와의 비교가 필요하다.

본 연구에서 다루는 컨테이너 터미널은 선석, 장치장, 게이트로 그 영역이 나뉜다.

그림 1에서 보는 바와 같이, 컨테이너 터미널에서의 작업은 선박에 실려 있는 수입컨테이너를 내려서 장치장에 적재하는 양하작업과 장치장에 적재되어있는 수출컨테이너를 선박에 적재하는 적하작업, 장치장에 적재되어있는 수입 컨테이너를 외부트럭이 게이트를 통해 인출하는 반출작업, 게이트를 통해 외부트럭으로부터 수출 컨테이너를 받아 장치장에 적재하는 반입 작업으로 구성된다.

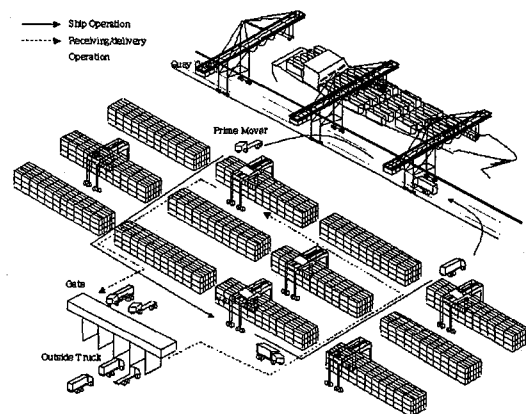


그림1. 컨테이너 터미널에서의 작업

본 연구에서 다루는 컨테이너 터미널의 영역은 선석부분이다. 선석은 컨테이너선의 컨테이너를 적하 및 양하 하기 위한 공간이다. 선석에서 하역작업을 하는 장비로 안벽크레인 이 있다. 일반적으로 선석당 안벽크레인 3~4대 정도가 작업을 수행한다. 선박과 관련된 양·적하작업을 흔히 본선작업이라 한다.

선박이 컨테이너 터미널에 머무르는 평균 시간인, 선박체류시간은 컨테이너 터미널의 생

산성을 측정하는 중요한 요소 중 하나이다. 선박체류시간의 많은 부분은 양·적하작업시간에 의해 결정된다. 따라서 양·적하작업시간을 줄임으로써 선박체류시간이 줄어들고, 컨테이너 터미널의 생산성을 향상시킬 수 있다.

효율적인 본선작업을 위한 첫 번째 단계는 선석에서 컨테이너를 취급하는 장비인 안벽크레인에 대하여 효율적인 작업일정계획을 수립하는 것이다. 본 연구에서는 일반부두와 양현부두의 본선작업 완료시간을 비교하는 방법으로 두 가지 형태의 선석에 대해서 안벽크레인 일정계획을 수립 하여 본선작업의 완료시간을 비교해 보고자 한다.

안벽크레인 일정계획은 선박의 접안시간과 양·적하작업물량이 주어졌을 때, 선박의 선적지시서(Stowage Plan)와 야드맵(Yard Map)을 바탕으로 안벽크레인의 가용시간을 고려하여 효율적인 안벽크레인의 작업일정계획을 수립하는 것이다. 컨테이너 터미널에 접안하는 선박마다 안정성에 대한 고려정도, 안벽크레인간의 간섭, 장치장 현황등 다양한 고려사항으로 인하여 효율적인 일정계획을 작성하는데 어려움이 있다. 그러나 본 연구에서는 안벽크레인간의 간섭만을 고려하였다.

Daganzo (1989)는 여러 대의 선박의 작업을 수행하기 위한 안벽크레인 일정계획문제를 처음으로 다루었다. 또한, Peterkofsky와 Daganzo (1990)는 여러 대의 선박에 대하여 출항시간과 안벽크레인 할당 수를 결정하는 알고리즘을 제시하여 선박의 지연을 최소화하는 문제를 다루었다. 박영만과 김갑환 (2004)은 안벽크레인 일정계획문제를 메타 휴리스틱 기법인 GRASP와 Branch and Bound 기법을 적용하여 문제를 해결하였으나, 장치장현황은 이미 결정되어 있다고 가정하고 선박의 물량만을 고려하였다. 김갑환과 강진수(2004)는 안벽크레인 스케줄과 야드맵을 바탕으로 개별 컨테이너의 적하작업순서를 결정하기 위해 빔서치기법을 적용하여 문제를 해결 하였다. 김갑환과 김기영(1999)은 트랜스퍼 크레인의 작업순서를 결정하는 문제를 다루었다. Jiyin와 2명(2006)은 안벽크레인의 할당을 통해 선박의 출발시간의 지연을 최소화하고자 하였다. 이들은 주어진 시간에 작업의 지연을 최소화 하면서 작업을 완료하기 위해 몇 대의 안벽크레인을 선박에 할당 시킬 것인가에 초점을 맞추었다. 한편 양현부두에 관련된 국내의 연구는 아직 미흡한 실정이다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 일반부두와 양현부두에서 안벽크레인의 운영 방식을 비교하였으며, 3장에서는 안벽크레인의 일정계획문제를 설명하였고, 4장에서는 두 가지 형태의 부두에서 본선작업의 완료시간을 알아보기 위해 GRASP를 적용한 안벽크레인 일정계획 알고리즘을 제시하였다. 5장에서는 수치 실험을 수행하고, 분석결과를 제시하였

다. 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 제시하였다.

2. 일반부두와 양현부두

일반적으로 부두는 그림 2와 같이 (-)자형의 형태를 가진다. 선박이 접안하면 여러 대의 안벽크레인이 선박의 한쪽 측면에 할당되어 하역 작업을 수행한다. 할당되는 안벽크레인의 수는 선박의 크기와 하역물량에 따라 달라진다.

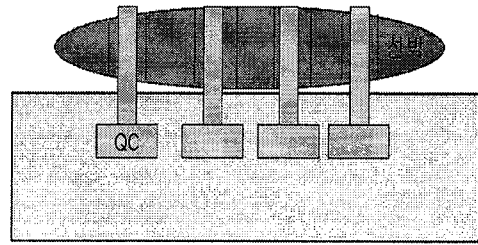


그림2. 일반 부두의 형태

최근 컨테이너선의 대형화로 인해 선박의 체류시간이 길어지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법 중 하나로 부두의 형태를 개선하는 것이다. 본 연구에서는 여러 형태의 부두 중에서 그림 3과 같은 양현부두를 일반부두의 비교 대상으로 하고자 한다.

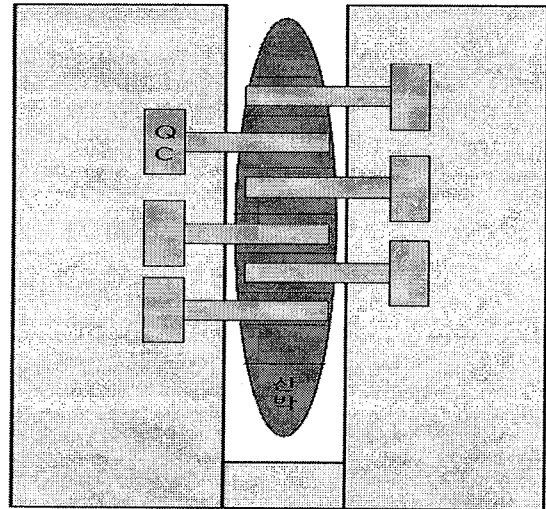


그림3. 양현 부두의 형태

그림 3에서 보는 바와 같이 선박의 3방향이 선석으로 감싸여 있다. 또한 선박의 양 측면에서 안벽크레인이 할당되어서 작업이 이루어지고 있다. 현재 양현부두는 세계 최초로 네델란드 암스테르담의 세레스파라곤 터미널

(CPT : Ceres Paragon Terminal)에서 운영되고 있다. 선석의 양쪽에서 9대의 안벽크레인으로 양하 및 적하 작업을 수행 할 수 있다.

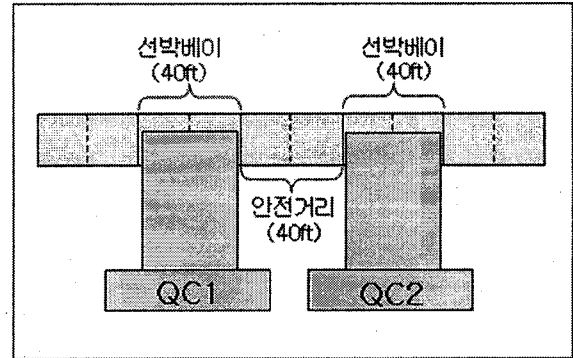
컨테이너터미널에서 초대형 선박이 입항하였을 때 선박의 체류시간을 단축하기 위해 여러 대의 안벽크레인을 투입하게 된다. 이때 기존 형태의 부두에서는 일직선상에서만 양하 및 적하작업이 수행되고 한쪽 측면의 장치장을 사용하게 됨으로써 안벽크레인의 물리적 제약(간섭)과 컨테이너를 장치장으로 이송하는 차량의 혼잡 등으로 인해 투입되는 안벽크레인의 수에 제약이 있다. 반면 양현 부두에서는 선박의 양측에서 안벽크레인이 양하 및 적하작업을 수행하기 때문에 기존 부두형태에서의 작업에 비해 투입 가능 안벽크레인의 수가 많아서 시간당 양하 및 적하작업의 생산성을 높일 수 있다. 단, 많은 안벽크레인이 투입되기 때문에 안벽크레인간의 간섭 등 작업의 효율성을 확보하기 위한 추가적인 계획 및 통제가 보다 중요해진다. 또한 양쪽 측면의 장치장을 사용하기 때문에 체계적인 장치장 계획이 이루어 져야 한다.

이와 같이 안벽크레인의 투입이 많아지는데 따른 공통적인 문제점은 안벽크레인간 간섭이 많아지고 장치장작업시 야드장비간의 간섭도 많아진다는 점이다. 본 연구에서는 장치장의 상황은 두 가지 부두형태 모두 동일하다고 가정한다. 따라서 안벽크레인간의 간섭문제만을 연구대상으로 삼았다.

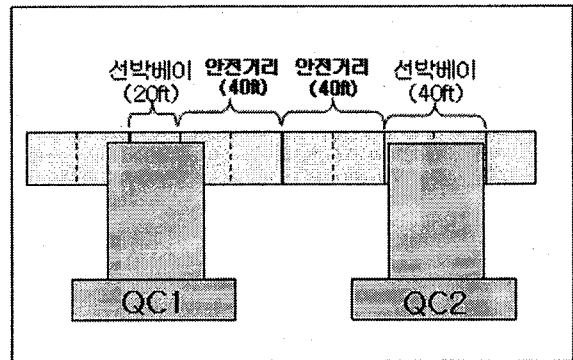
일반적으로 선박은 동일한 크기(40ft)를 가지는 선박베이를로 구성되어있다. 그러나 어떠한 선박은 특정한 크기(20ft)의 선박베이와 함께 구성되어있다. 따라서 안벽크레인이 어떠한 크기의 선박베이에 작업하는가에 따라서 인접한 안벽크레인과 안전거리가 달라진다. 실제 컨테이너 터미널에서는 안벽크레인이 일반부두나 양현부두에서 작업을 수행할 때 인접한 두 대의 안벽크레인간의 간섭을 피하기 위해 서로 다른 안전거리를 유지하면서 양하 및 적하작업을 수행하고 있으며, 선박베이의 크기에 따라 안전거리를 다르게 적용하고 있다. 각 부두 형태와 선박베이크기에 따른 안전거리는 다음과 같다.

먼저 일반부두에서는 그림2에서 보는 바와 같이 안벽크레인이 선박의 한쪽 측면에 할당되어서 작업을 수행한다. 선박에 할당된 안벽크레인은 동일 레일 위에 좌우로 이동하면서 작업을 수행하게 된다. 안벽크레인을 많이 할당할수록 인접한 두 대의 안벽크레인간의 거리가 짧아져 안벽크레인간의 간섭이 발생할 가능성은 커지게 된다. 그림 5는 일반부두에서 서로 다른 크기의 선박베이에 작업하는 안벽크레인간의 안전거리를 나타내고 있다. 그림 5(a)에서 QC1과 QC2가 각각 40ft 선박베이에 작업을 수행 할 때 두 안벽크레인간의 안전거리는 40ft선박베이가 된다. 반면 그림

5(b)에서 QC1은 20ft선박베이에서 작업을 수행 하고 있고, QC2가 어떠한 40ft선박베이에 작업을 수행 하고자 할 때 두 안벽크레인간의 안전거리는 40ft선박베이 2개가 된다.



(a) 두 QC가 모두 40ft베이에 작업할 경우

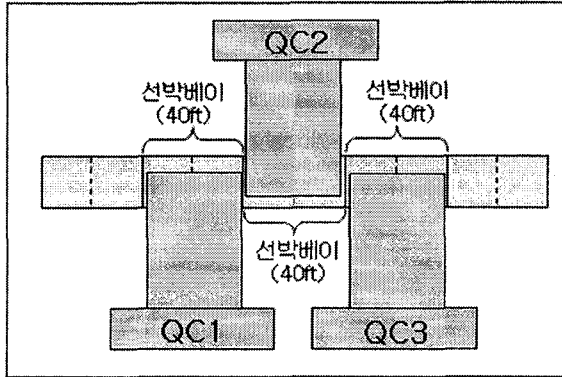


(b) 각 QC가 서로 다른 크기의 베이에서 작업할 경우

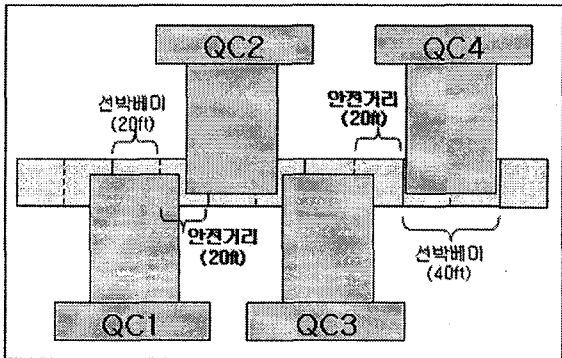
그림5. 일반부두에서 작업위치에 따른 안전거리

양현부두에서는 그림 3에서 보는 바와 같이 안벽크레인이 선박의 양쪽 측면에 할당되어서 작업을 수행한다. 일반적으로 선박에 안벽크레인을 할당 할 경우 인접한 안벽크레인은 서로 다른 측면에 할당 된다. 따라서 인접한 안벽크레인간의 간섭발생은 일반부두와 차이가 있다. 즉, 일반부두에서는 안벽크레인간의 간섭은 안벽크레인의 다리부분에서 발생하고, 양현부두에서는 안벽크레인의 붐(boom)에서 발생한다. 그림 6은 양현부두에서 서로 다른 크기의 선박베이에 작업하는 안벽크레인간의 안전거리를 나타내고 있다. 그림 6(a)에서 QC1, QC2, QC3은 각각 인접한 40ft베이에서 작업을 수행할 때 안벽크레인간의 안전거리가 없다. QC1과 QC2는 서로 다른 측면에 놓여 있어 간섭이 발생하는 부분이 안벽크레인의 붐이 된다. 그러나 붐의 너비는 40ft선박베이 으 너비 보다는 작다. 따라서 QC1과 QC2는 간섭 없이 작업을 수행 할 수 있다. 반면 그림 6(b)에서 QC1과 QC2가 각각 20ft선박베이에

서 작업을 할 경우 안벽크레인간의 간섭거리는 20ft선박베이가 된다. 또한 QC3은 20ft선박베이에서 작업을 수행 하고 QC4가 40ft선박베이에 작업을 수행하고자 할 때 두 안벽크레인간의 안전거리도 20ft선박베이가 된다.



(a) 모든QC가 40ft선박베이에서 작업 할 경우



(b) 각 QC가 서로 다른 크기의 선박베이에서 작업할 경우

그림6. 양현부두에서 선박베이 크기에 따른 안전거리

다음 장에서는 실제 컨테이너 터미널에서 적용하고 있는 두 부두형태별 선박베이의 크기에 따른 안전거리를 반영한 안벽크레인 일정계획을 소개한다.

3. 안벽크레인 일정계획 문제

본 연구에서는 일반부두와 양현부두에서 본선작업의 완료시간을 비교하기 위해서 안벽크레인 일정계획을 적용하였다.

안벽크레인 일정계획문제의 목표는 본선작업의 완료시간을 최소화하기 위해서 각 안벽크레인의 양·적하작업의 순서를 결정하는 것이다. 안벽크레인 일정계획은 선사로부터 제공되는 선적지시서(Stowage Plan)와 장치장에서 컨테이너들의 장치현황을 보여주는 야드맵(Yard Map)의 정보를 이용하여 수립한다. 그림 7과 그림 8은 선박에 대한 선적지시서와

야드맵을 보여주고 있다.

선적지시서는 선박내 각 베이의 횡단면에 여러 개의 색깔로 표시된 cell들의 집합으로 구성되어 있다. 각 cell에는 양·적하 되어야 할 컨테이너의 속성 즉, 목적항, 크기, 타입등을 나타내고 있다. 이러한 속성들을 가진 컨테이너들의 집합을 “Group”이라고 한다. 야드맵은 장치장에서 컨테이너들의 Group별 장치현황정보를 보여준다. 보통 선적지시서와 야드맵에는 동일한 속성을 가지는 컨테이너들이 서로 인접한 slot에 위치되어 있는데 이는 양·적하작업의 효율성을 위한 것이다.

클러스터란 동일한 베이에 속성이 같은 동일 group 컨테이너들의 묶음을 말한다. 선박클러스터(Ship-cluster)는 선적지시서를 바탕으로 동일한 선박베이(Ship-bay), 홀드(Hold) 또는 데크(Deck)에 위치하고, 양하 또는 적하, 목적항, 크기, 형태 등의 동일한 속성을 가진 컨테이너들의 묶음이다. 이러한 선박클러스터는 안벽크레인의 작업계획단위라고 할 수 있다.

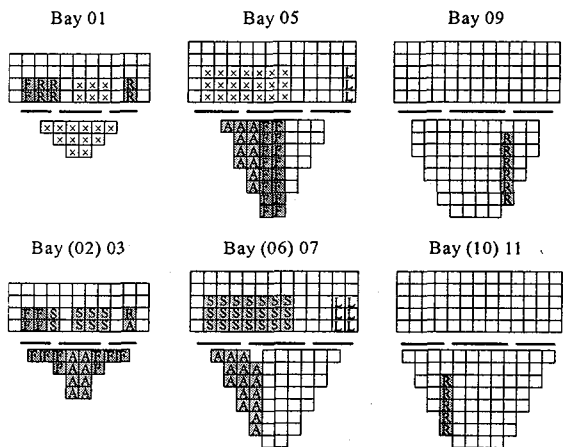


그림7. 선박의 Stowage Plan

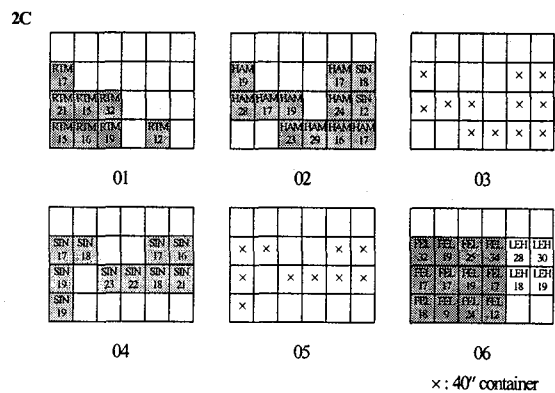


그림8. 야드에서의 컨테이너의 배치

본 연구에서는 선박의 컨테이너들에 대하여 안벽크레인의 작업 대상이 되는 선박클러스터(Ship-cluster)를 생성하여 안벽크레인의 수를 변화 시켜가면서 안벽크레인의 작업일정계획을 수립하였다.

안벽크레인 일정계획문제는 몇 가지 특징이 있다. 먼저, 보통 양·적하작업을 위해서 다수의 안벽크레인이 동시에 작업을 수행한다. 이러한 경우는 일정계획분야에서 동일한 기능을 가진 m 대의 기계가 동시에 작업을 수행하는 경우와 일치하므로 *m Parallel Machine* 일정계획문제의 한 형태라고 할 수 있다. 뿐만 아니라 동일한 Ship-bay에서 양·적하작업이 수행되어야만 할 때, 양하작업이 적하작업보다 먼저 수행 되어야만 한다. 적하작업의 경우, 동일한 작업위치에서는 Hold의 작업을 먼저 수행하고 Deck의 작업을 수행하여야 한다. 반대로 양하작업인 경우, 동일한 작업위치에서는 Deck의 작업을 먼저 수행하고 Hold의 작업을 수행하여야 한다. 이처럼 안벽크레인 일정계획문제는 일반적인 일정계획문제에서 작업대상들간의 선후행 관계가 있는 경우이다.

또한 작업을 수행하는 장비인 안벽크레인이 동일한 레일 뒤를 이동하면서 작업을 수행하기 때문에 각 안벽크레인간의 간섭현상이 발생하지 않도록 해야 한다. 즉, 안벽크레인의 작업 대상인 선박클러스터가 인접했을 때 서로 다른 안벽크레인이 동시에 작업을 수행할 수 없다. 따라서 안벽크레인 간에는 약간의 거리를 두고 작업을 수행 해야만 한다. 따라서 안벽크레인 일정계획문제는 작업간의 선후행 관계가 있고 작업을 수행하는 기계간 간섭이 있는 *m Parallel Machine* 일정계획문제의 한 형태로 정의할 수 있다.

본 연구에서 안벽크레인 일정계획문제를 해결하는데 있어서 고려된 제약조건은 다음과 같다.

- (1) 안벽크레인의 가용한 시간 내에서 작업을 수행하여야 한다.
- (2) 선박내의 인접한 작업이나 특정한 작업에 대해서는 동시에 작업이 이루어질 수 없다.
- (3) 장치장의 장치현황에 따라서 특정한 작업은 동시에 작업이 이루어질 수 없다.
- (4) 작업을 수행하는 안벽크레인간의 간섭이 발생하지 않아야 한다. 일반부두와 양현부두에서의 간섭거리를 다르게 조정한다.
- (5) 특정한 작업 간에는 선후행관계를 만족시켜야한다.
- (6) 장치장에서의 트랜스퍼크레인 이동 및 간섭 등 작업부하를 고려하여야 한다.
- (7) 특수한 상황에 따라 안벽크레인의 작업범위가 정해진다. 따라서 작업범위를 고려해야 한다.

위에서 제시한 제약조건에서 알 수 있듯이, 안벽크레인의 작업일정계획문제는 선박의 특징, 장치장 현황, 취급장비의 특징등 다양한

고려사항이 존재한다.

다음 장에서는 인공지능기법 중 최적에 가까운 해를 찾아주는 탐색기법인 GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure)를 적용한 안벽크레인 작업일정계획기법을 제안하였다.

4. GRASP를 이용한 안벽크레인 일정계획

GRASP(Greedy Randomized Adaptive Search Procedure)를 통한 최적해 탐색기법은 1980년대 후반에 set covering problem등 계산복잡도가 높은 문제를 풀기 위한 해법으로 처음 개발되었다. 그 이후 생산분야의 일정계획, 그래프 관련문제, 2차 할당문제, 비행 승무원 일정계획, 장비 및 tool의 선택문제, 위치선정문제 등 광범위한 부분에 적용되고 있다. GRASP는 반복적인 임의추출기법으로써 각 반복단계에서 하나의 해를 제공한다. 모든 GRASP 반복과정 후 유지되는 해가 최종해가 된다. GRASP는 해를 생성하는 첫 번째 단계 (Solution Construction Phase)와 생성된 해를 개선시키는 두 번째 단계 (Solution Improvement Phase)로 구성되어있다. 그림 9는 본 연구에서 제시하는 안벽크레인 일정계획 알고리즘의 pseudo-code이다.

```

procedure Grasp()
1  InputInstance();
2  Repeat
3     Phase 1: ConstructInitialSolution(Solution);
4     Phase 2: LocalSearch(Solution);
5     UpdateSolution(Solution, BestSolution);
6  Until stopping criterion = true
7  return(BestSolution);
end grasp

```

그림9. 전체 알고리즘의 pseudo-code

그림 9의 첫 번째 행은 초기에 문제를 정의하는 부분으로서 필요한 변수의 선언 및 해를 초기화하는 부분이다. 두 번째 행부터 여섯 번째 행까지가 GRASP 기법의 주 내용이다. 즉, 안벽크레인이 작업 가능한 작업을 나열하여 Greedy function과 난수를 이용하여 선박클러스터를 선택하고, 선택된 선박클러스터와 동일한 그룹속성을 가진 장치장클러스터중에서 Greedy 휴리스틱을 이용해서 트랜스퍼크레인의 작업을 선택하는 방법으로 모든 선박클러스터와 장치장클러스터의 작업순서를 결정한다. 네 번째 행과 다섯 번째 행에서 지역적 탐색기법을 이용하여 해를 개선시킨 다음 기존의 좋은 해와 비교하여 최선의 해를 찾는다.

마지막 행에서 가장 좋은 해를 되돌려주는 형태를 가진다. 안벽크레인 일정계획에서 사용한 GRASP 탐색의 종료 조건은 최대반복수행 횟수 및 해의 개선이 연속해서 특정한 횟수만큼 개선이 없는 경우(MNI)에 종료하며, 그때까지 가장 좋은 해를 선택한다.

각 단계별 세부적인 해법 절차를 설명하기 위해 다음과 같은 기호를 사용하였다.

i	선박클러스터의 색인($i = 1, 2, \dots, I$)
j	장치장클러스터의 색인($j = 1, 2, \dots, J$)
k	QC 및 TC의 색인($k = 1, 2, \dots, K$)
B	장치장 블록의 색인($B = 1, 2, \dots, B$)
b	장치장 베이의 색인($b = 1, 2, \dots, b$)
Q_k	QC _k 의 작업 완료시간
T_k	TC _k 의 작업 완료시간
F	QC _k 의 작업 가능 선박클러스터의 목록
G	QC _k 의 작업 가능 장치장클러스터의 목록

4.1 해의 생성 단계 (Phase 1)

해의 생성단계의 단계별 세부적 절차는 다음과 같다.

단계1. 안벽크레인 중에서 최소 Q_k 를 가지는 안벽크레인을 선택한다. 만약 안벽크레인의 Q_k 가 동일한 경우 임의적으로 안벽크레인을 선택한다. QC_k가 선택되었다고 하자.

단계2. 선택된 QC_k가 작업할 수 있는 작업가능목록을 작성한다. 이를 집합 F 라고 하자. 작업의 선후행 관계 및 안벽크레인간 간섭등 제약조건에 해당하는 선박클러스터들은 F 에서 제거된다.

단계3. 나열된 선박클러스터 $j \in F$ 중에서 QC_k 위치와 가까운 위치의 작업이 선택될 확률이 크도록 확률값을 부여한다.

단계4. 난수를 발생시켜 QC_k가 작업할 하나의 선박클러스터를 선택한다.

단계5. 선택된 선박클러스터와 동일한 그룹정보를 가진 장치장클러스터들 중에서 다음과 같이 장치장 작업을 선택한다. 이때 선택된 장치장클러스터를 TC_k라고 하자. 세부절차는 다음과 같다.

단계5-1. 단계4에서 선택된 선박클러스터와 동일한 그룹정보를 가진 장치장클러스터들의 작업후보목록을 작성한다. 작업후보목록을 집합 G 라고하자.

단계5-2. 장치장클러스터 $j \in G$ 중에서 TC_k의 현재 위치와의 거리가 가장 짧은 장치장클러스터를 선택한다.

단계5-3. 선택된 장치장클러스터 j 가 가진 컨테이너개수는 선박클러스터 i 가 요구한 컨테이너개수를 만족 시켜야한다. 만족하면 단계6으로 진행한다. 만일 요구한 컨테이너 개수를 만족하지 않으면 현재의 장치장 클러스터를

할당한 다음 단계5.2로 돌아가서 다음 장치장 클러스터를 찾는다.

단계6. 장치장부하정보를 수집하고, 수집된 정보를 이용하여 트랜스퍼크레인의 이동시간, 작업시간, 간섭을 고려하여 TC_k의 총 작업완료시간 T_k 를 계산한다.

단계7. QC_k의 작업완료시간을 TC_k의 작업완료시간 T_k 와 QC_k의 작업완료시간 Q_k 와 비교하여 다음과 같이 결정한다.

$$Q_k = \max\{Q_k, T_k\}$$

단계8. 할당해야할 선박클러스터가 존재하면 단계1로 간다. 모든 선박클러스터들이 할당되었으면 해의 생성단계는 종료되며 해의 개선 단계로 진행한다.

4.2 해의 개선 단계 (Phase 2)

해의 개선 단계는 생성된 해로부터 지역적 탐색법을 사용하여 해를 개선시키는 단계이다. 본 연구에서는 해의 개선방법으로 일정 계획문제에서 많이 사용하고 있는 2-opt 방법을 사용하였다. 해의 개선단계의 각 단계별 세부적인 절차는 다음과 같다.

해의 개선 단계에서는 동일한 QC에 할당된 작업들의 수행 순서를 바꾸는 방식을 사용한다. 이때 해당 선박클러스터에 할당된 장치장클러스터도 같이 바꾸어 주어야 한다. 해당 QC의 작업완료시간이 감소하면 현재 해를 바꾸어 주는 방식으로 계속하되 완료시간이 더 이상 감소하지 않을 때까지 반복한다.

5. 수치 실험

일반부두와 양현부두의 본선작업 완료시간을 비교하기 위해서 본 연구에서 제시된 안벽크레인 일정계획기법을 이용하여 수치 실험을 수행 하였다. 본 실험에서는 각 선박에 할당되는 안벽크레인의 수를 변화 시켜 가면서 실험을 수행 하였으며, 서로 다른 규모의 선박을 대상으로 일반부두와 양현부두에서 적용된 안벽크레인간의 안전거리를 적용 하였다. 안벽크레인 일정계획에 사용된 입력 데이터는 실제 선박의 선적지시서와 야드맵에서 생성된 선박클러스터와 장치장클러스터를 가지고 실험을 수행 하였다. 실험에서 사용된 문제의 세부정보는 표 1과 같다. 본 연구에서 제시된 알고리즘은 C언어로 구현을 하였으며, 펜티엄4 2.4GHz PC에서 실험을 수행하였다.

표1. 실험에 적용된 문제

내용	문제1	문제2	문제3
선박의 전체 배이수	36	36	42
선박클러스터의 수	58	81	99
장지장클러스터의 수	86	132	108
컨테이너의 수	872	1380	1529

5.1 본선작업 완료시간의 비교 실험

본 실험에서는 일반부두와 양현부두에 접안된 선박에 할당되는 안벽크레인 투입대수의 변화에 따라 본선작업의 완료시간이 어떻게 변하는지를 알아보았다. 또한 2장에서 소개된 각 부두형태별로 적용되는 안전거리를 고려하여 안벽크레인의 총작업시간에서 총간섭시간이 차지하는 비율도 알아보았다. 안벽크레인의 수는 최소 2대에서 최대 10까지 할당 하였다.

그림 10, 그림 11, 그림 12는 각 문제에 대해서 안벽크레인 투입대수 증가에 따른 일반부두와 양현부두에서의 Makespan의 변화를 보여 주고 있다. 적용된 문제 모두 일반부두보다는 양현부두에서의 Makespan이 감소하는 경향을 보였다. 그리고 안벽크레인의 수가 3문제 모두 5, 6대까지 Makespan이 많은 감소를 보이다가 7대에서 10까지는 Makespan이 비슷한 경향을 보였다. 또한 선박에 할당된 물량이 작은 문제 1에서는 안벽크레인의 투입이 증가될수록 일반부두와 양현부두에서의 Makespan의 차이가 커지는 것을 알 수 있었다. 반면 선박에 할당된 물량이 많은 문제 2와 문제 3에서는 안벽크레인의 투입이 증가할수록 Makespan의 차이가 비슷하게 유지되었다.

그림 13, 그림 14, 그림 15는 각 문제의 선박에 할당된 모든 안벽크레인의 총 작업시간에서 모든 안벽크레인의 총 간섭시간이 차지하는 비율을 나타낸 것이다. 안벽크레인 일정계획에 의해 산출된 안벽크레인 작업시간에는 간섭시간까지 포함하고 있다. 따라서 안벽크레인이 투입된 수의 변화에 따라 간섭시간이 어떻게 변화 하는지 알 수 있다. 적용된 문제에 투입된 안벽크레인의 수가 증가 될수록 간섭이 많이 발생하는 것을 알았다. 양현부두에서의 간섭발생이 일반부두보다 적다는 것을 알 수 있었다. 또한 선박에 할당된 물량이 적은 문제 1에서는 안벽크레인의 수가 증가 될수록 일반부두와 양현부두와의 간섭시간의 차이가 크다는 것을 알 수 있었다. 그러나 선박에 할당된 물량이 많은 문제 2와 문제 3에서는 안벽크레인의 수가 증가함에 따라 일반부두와 양현부두에서의 간섭시간에 큰 차이를 보이지 않았다.

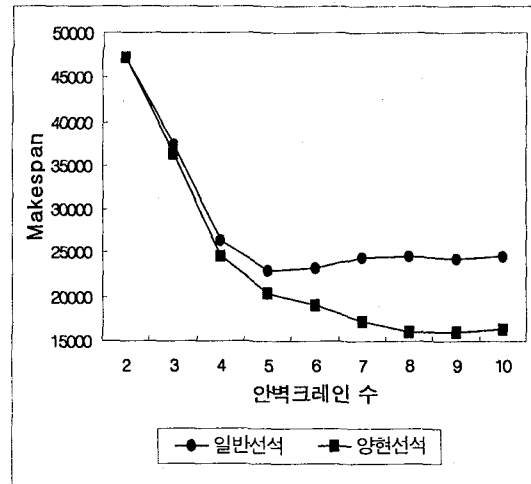


그림10. 일반부두와 양현부두에서 Makespan 비교(문제1)

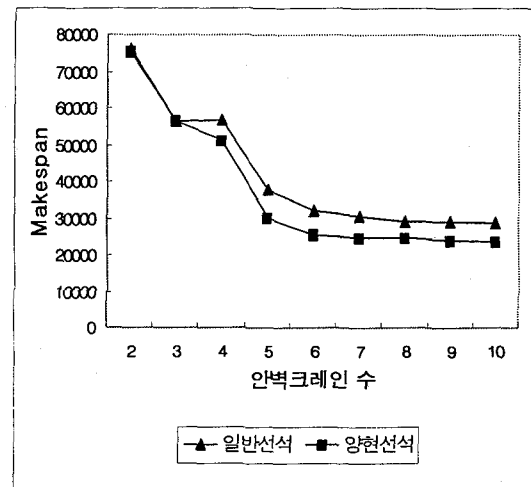


그림11. 일반부두와 양현부두에서 Makespan 비교(문제2)

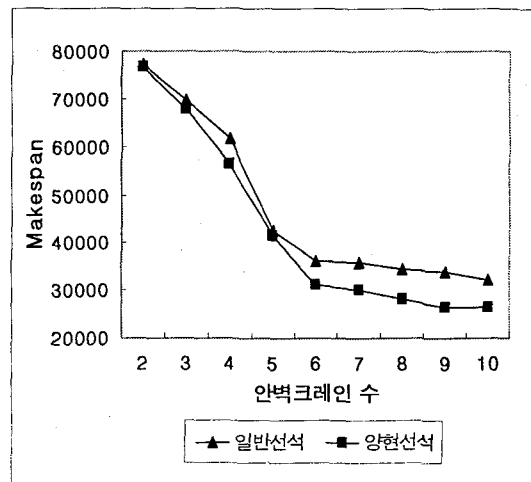


그림12. 일반부두와 양현부두에서 Makespan 비교(문제3)

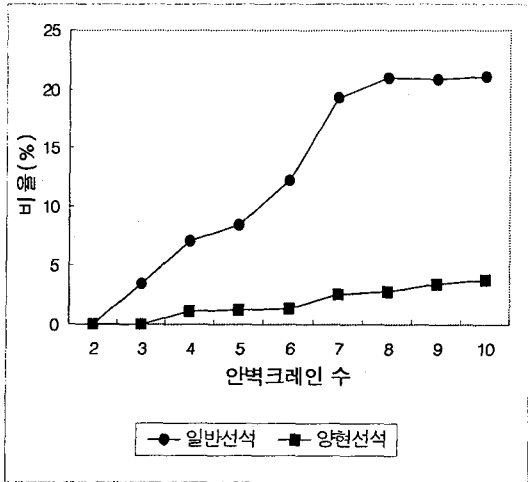


그림13. 일반부두와 양현부두에서 안벽크레인의 총간섭시간의 비율(문제1)

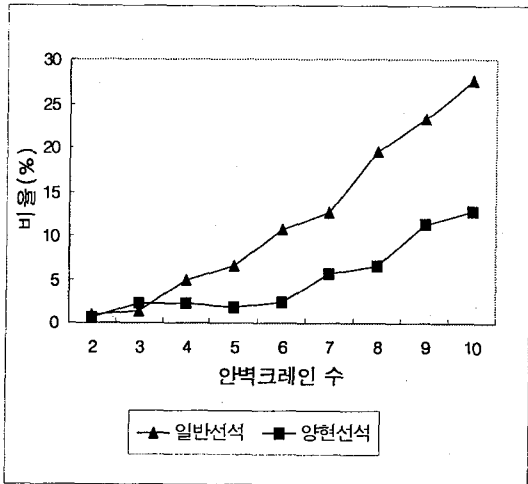


그림13. 일반부두와 양현부두에서 안벽크레인의 총간섭시간의 비율(문제2)

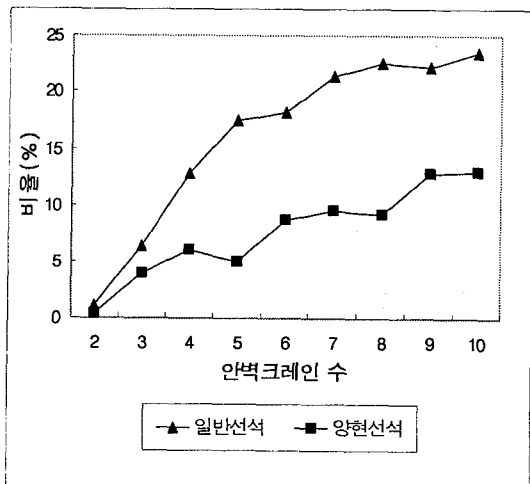


그림13. 일반부두와 양현부두에서 안벽크레인의 총간섭시간의 비율(문제3)

5.2 선박의 물량을 분산 했을 때 본선작업 완료시간의 비교실험

5.1절의 실험에서 적용된 실험 데이터는 선박의 일부분에 물량이 집중되어 있는 데이터이다. 따라서 본 실험에서는 선박의 집중된 물량을 선박 전체에 고루 분산시켰을 때 각 일반부두와 양현부두에서 안벽크레인의 투입에 따른 안벽크레인의 작업완료시간과 안벽크레인간의 간섭에 어떠한 영향을 주는지 알아 보았다.

물량분산 대상의 선박은 표 1에서 문제 1 과 문제 3으로 선정 하였다. 즉, 선박클러스터의 수가 적은 선박과 많은 선박을 비교 하였다. 이때 각 선박에 할당된 선박클러스터 수와 각 선박클러스터에 할당된 컨테이너수는 변화시키지 않고 단순 선박클러스터의 위치만을 변화시켜 선박클러스터를 분산시켰다.

표 2에서 보는 바와 같이 물량분산 실험에 적용될 입력데이터는 다음과 같이 구성 하였다. 먼저 문제 1에서는 선박베이를 27개 사용하였다. 이때 하나의 선박베이에 할당될 평균 선박클러스터의 수는 2개가 된다. 따라서 1~3의 범위를 가지고 랜덤하게 주어진 선박베이에 선박클러스터를 할당 하였다. 그리고 문제 3에서는 선박베이를 42개 사용하였다. 이때 하나의 선박베이에 할당될 평균 선박클러스터의 수는 2개가 된다. 따라서 문제 3에서도 1~3의 범위를 가지고 랜덤하게 주어진 선박베이에 선박클러스터를 할당 하였다. 이렇게 만들어진 데이터를 가지고 실험한 결과는 다음과 같다.

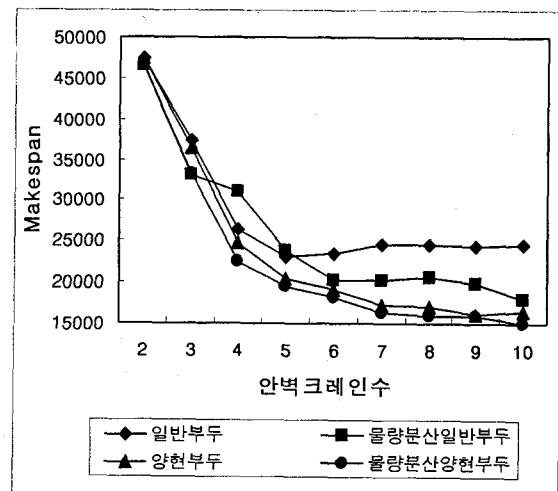


그림14. 물량분산 전과 후의 Makespan비교 (문제1)

그림 14에서 보는 바와 같이 일반부두에서 물량분산후의 Makespan은 물량분산전의 Makespan과 비교하여 상당한 감소를 보였다. 그러나 양현부두에서는 물량분산후의 Make-

표2. 실험대상 선박의 물량분산 결과

문제	항목	총클러스터수	베이의 수	베이에 할당된 평균 클러스터수	베이별 할당된 클러스터 개수의 범위	표준편차
P1	물량분산전	58	19	4	1 ~ 6	1.39
	물량분산후	58	27	3	1 ~ 3	0.7
P3	물량분산전	99	34	3	1 ~ 7	1.7
	물량분산후	99	42	3	1 ~ 3	0.46

span의 감소는 일반부두보다 많은 효과를 보이지 못했다. 반면 그림 15에서는 물량분산후의 일반부두와 양현부두에서의 Makespan은 물량분산전의 일반부두와 양현부두에서의 Makespan과 비교하여 감소효과를 보였으나 많은 효과를 보이진 못하였다.

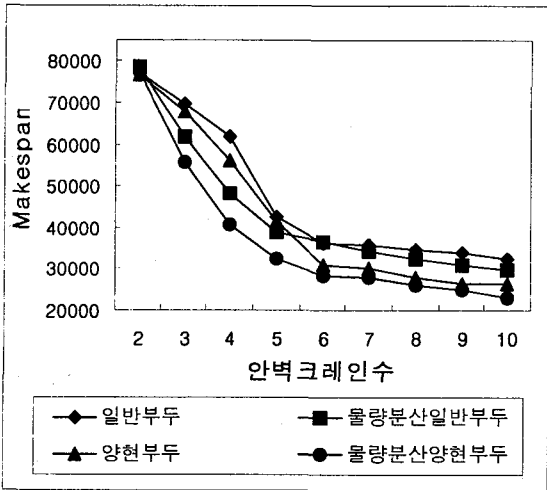


그림 15. 물량분산 전과후의 Makespan비교 (문제3)

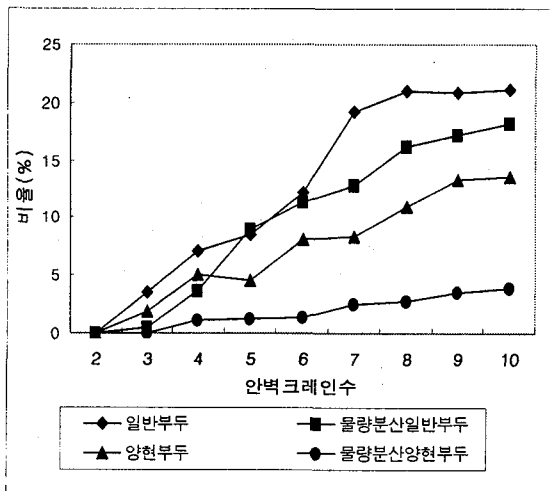


그림 16. 물량분산 전과후의 안벽크레인의 총간섭시간의 비율(문제1)

물량분산이 일반부두와 양현부두에서 작업을 수행 하는 안벽크레인의 간섭에 어떠한 영향을 주는지에 대해서 알아보았다. 결과는 다음과 같다.

그림 16는 일반부두와 양현부두에서 물량분산 전과 후의 안벽크레인의 총 간섭시간이 총 작업시간에서 차지하는 비율을 각각 나타낸 것이다. 양현부두에서는 물량분산이 안벽크레인의 간섭발생 감소에 상당한 영향을 준다는 것을 알 수 있었다. 반면 그림 17에서는 물량분산이 일반부두와 양현부두에서 안벽크레인의 간섭발생을 줄였지만 효과가 크지는 않았다.

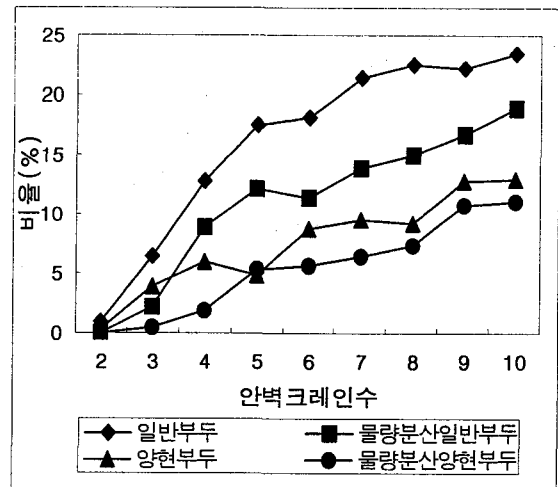


그림 17. 물량분산 전과후의 안벽크레인의 총간섭시간의 비율(문제3)

6. 결론

최근 컨테이너선의 대형화로 늘어난 물동량을 신속하게 처리하고 선박의 체류시간을 줄이기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 이에 대한 대안 중 하나로 양현부두의 등장이다. 본 연구에서는 현재 많은 컨테이너 터미널에서 운영 중인 부두형태인 일반부두와 신 개념의 부두형태인 양현부두에서의 본선작업의 완료 시간을 알아보았다. 비교 방법으로 본선작업을 수행하는 안벽크레인에 대한 작업일정계획을 각각의 두 형태의 부두에 적용하여 안벽크레인의 작업완료시간을 알아보았다. 본 연구에서

는 실제 컨테이너 터미널에서 운영 중인 두 형태의 부두 각각에 적용하고 있는 안벽크레인 간 간섭거리를 반영하여 안벽크레인 작업일 정계획을 결정하였으며, 최적에 가까운 해를 찾아주는 탐색기법인 GRASP를 적용하였다.

컨테이너터미널에 정박한 선박의 실제 자료를 수집하여 입력데이터를 작성하였고 안벽크레인 대수를 증가 시켜 가면서 각 부두형태별 본선작업의 완료시간에 대한 실험을 수행하였다. 또한 선박의 일부 선박베이에 분포되어 있는 물량을 많은 선박베이에 고루 분산했을 경우 일반부두와 양현부두에서 안벽크레인의 작업완료시간과 간섭에 어떠한 영향을 주는가에 대해서 살펴보았다. 실험 결과에서 일반부두보다는 양현부두에서 대체적으로 안벽크레인의 작업완료시간이 감소하였으며, 간섭도 많이 발생하지 않았다. 그러나 안벽크레인 수의 증가에 따른 지속적인 작업완료시간 감소와 간섭감소효과는 보이지 않았다. 본 연구에서는 6대까지 작업완료시간 감소와 간섭감소효과를 보였다. 물량분산 실험의 경우 물량분산을 수행하기 전보다 일반부두와 양현부두 모두 어느 정도 안벽크레인의 작업완료시간의 감소와 간섭발생감소효과를 보였다.

본 연구에서는 양현부두의 경우 안벽크레인을 할당할 때 인접한 안벽크레인은 선박의 서로 다른 측면에 위치한다고 가정하였다. 그러나 인접한 안벽크레인이 동일 측면에 할당될 수도 있을 것이다. 향후 연구에서는 다양한 안벽크레인 할당위치에 대해서도 고려를 해야 할 것이다. 또한 본 연구에서는 현재 운영 중인 초대형 선박을 대상으로 실험을 수행하지 못하였다. 향후연구에서는 충분한 실험이 수행 되어야 할 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 해양수산부의 '지능형 항만물류 시스템 기술개발' 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Daganzo, C. F. (1989), The Crane Scheduling Problem, Transportation Research 23B, 159-175.
- Kim, K.H. and Park Y. M. (2004), A crane scheduling method for port container terminals, European Journal of Operational Research, 156, 752-768.
- Kim, K.H., Kang, J.S., and Ryu, K.R., A beam search algorithm for the load sequencing of outbound containers in port container terminals, OR Spectrum, Vol. 26, pp93-116. 2004.
- Kim, K.H., Kim, K.Y., An Optimal Routing Algorithm for a Transfer Crane in Port

- Container Terminals, Transportation Science, Vol. 33, No. 1, pp17-33. 1999
- Peterkofsky, R. I. and Daganzo, C.F. (1990), A Branch and Bound Solution Method for the Crane Scheduling Problem, Transportation Research, 24B(3), 159-172.