

자동화 컨테이너 터미널에서 이적작업을 위한 장치장 크레인 작업할당

*배종욱 · † 박영만

* 전남대학교 물류교통학전공, † 해군사관학교 국방경영과학과

Yard Crane Dispatching for Remarshalling in an Automated Container Terminal

*Jong-Wook Bae · † Young-Man Park

* Department of Logistics and Transportation, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea
† Department of Management Science, Korea Naval Academy, Changwon 645-797, Korea

요 약 : 이적작업은 자동화 컨테이너 터미널에서 하역작업의 생산성을 높이는 운영 전략으로 연구되고 있다. 이는 장치장 블록 내 컨테이너들의 재배치 작업을 의미한다. 이적작업의 크레인 작업할당 문제는 작업가능시간에 대한 제약을 고려하여 이적작업의 효과를 최대화하기 위해 가능한 이적작업 중에서 효율적인 이적작업을 선정하고 이들의 작업순서를 정하는 것이다. 본 연구는 혼합정수계획법을 활용하여 장치장 크레인의 작업할당 문제에 대한 최적화 수리모형을 개발하고 이의 예를 제시하였다. 그러나 수리모형은 계산시간이 많이 소요되어 현장에서 사용되기 어렵다. 따라서 현실 적용을 위해 대표적인 5개의 작업할당 규칙을 비교 평가하였다. 수치실험에서 maximum weight ratio(MR) 규칙이 전반적으로 뛰어난 성능을 보였다.

핵심용어 : 컨테이너 터미널, 이적작업, 작업할당, 장치장 크레인, 혼합정수계획법, 작업할당 규칙

Abstract : A remarshalling is studied as an important operational strategy in an automated container terminal to enhance the productivity of container handling. This means the rearrangements of the containers scattered at a vertical yard block. The dispatching problem for remarshalling is selecting the remarshalling operation considering the available operation time and deciding the operation sequencing to maximize the effectiveness of remarshalling. This study develops the optimal mathematical model for yard crane dispatching problem with mixed integer program and explains dispatching problem using an example. However it is difficult to apply this model to a field problem because of its computational time. Therefore, we compare the representative 5 dispatching rules for real world adaption. In a numerical experiment, maximum weight ratio(MR) rule shows an overall outstanding performance.

Key words : container terminal, remarshalling, dispatching, yard crane, mixed integer programming, dispatching rule

1. 서 론

컨테이너 터미널에서 하역생산성 제고를 위한 재작업(rehandling) 최소화와 장치장 크레인(yard crane: YC)의 이동시간 단축은 중요한 관심 사항이다. 그러나 본선작업과 반출입작업에 대한 정보를 사전에 파악하기 어렵고 획득한 정보의 불확실성이 높아 장치장계획 등의 의사결정 방법으로 해결하는 데는 한계가 있다.

따라서 재작업 완화와 YC의 이동시간 단축을 위한 후속적 운영 전략 중 하나가 이적작업(remarshalling)이다. 이는 하역작업 전에 장치장에 놓여있는 컨테이너를 재배치하는 작업이다. 일반적으로 컨테이너 터미널에서는 본선작업과 반출입작업의 우선순위가 높기 때문에 이들 작업이 수행되지 않는 시간을 활용하여 이적작업을 수행한다. 이적작업은 YC의 추가적인 활동이 필요하기 때문에 무인화 수준이 높은 자동화 컨테

이너 터미널에서 활용 가능성이 높다.

이 연구는 이적작업계획(배 등, 2006; 배 등, 2008)에서 요청작업이 결정되었다고 가정하고 이적작업을 위한 YC의 작업할당 문제를 다루었다. 이 문제는 요청된 작업들 중에서 YC가 수행할 대상을 선정하고 이들의 작업순서를 정하는 것이다. 이적작업은 한정된 작업가능시간 내에 수행되어야 하기 때문에 문제는 시간제약을 고려하면서 이적작업 효과를 최대화시키는 것이다.

이 연구는 혼합정수계획법을 이용하여 최적 수리모형을 개발하고 이를 이용하여 YC 작업할당에 대한 예제를 제시하였다. 그러나 최적화 모형은 계산시간의 한계로 현실 적용이 어렵다. 따라서 보다 효율적 해법이 제시되어야 한다. 본 연구는 기존에 알려진 여러 작업할당 규칙을 작업할당 YC 문제에 적용시켜 보았다. 그리고 수치실험을 통해 이들의 수행도를 비교하였다.

* 연희원, jwbae@chonnam.ac.kr 061)659-7352

† 교신저자 : 연희원, ymanpark@pusan.ac.kr 051)549-1228

(주) 이 논문은 “자동화 컨테이너 터미널에서 이적작업을 위한 장치장 크레인 작업할당”이란 제목으로 “2012년도 공동학술대회 한국항해항만학회논문집(경주 교육문화회관, 2012. 6.21~23, pp.237-239)”에 일부 내용이 발표되었음.

2. 자동화 컨테이너 터미널의 이적작업

2.1 문헌연구

이 연구와 밀접한 연구 분야는 컨테이너 터미널의 장치장 계획 및 위치결정, 재작업 작업계획, 재배치 전략 등이다.

박(1997)은 선박의 재항시간을 줄이기 위해서 컨테이너 터미널의 수출 장치장 공간할당을 연구하였다. Kim and Kim (1999)은 수입 장치장을 운영하는데 특징적으로 나타나는 재작업 작업을 분석하고, 이것을 수입 장치장 운영과 관련된 의사결정에 포함시켜서 다루었다. Kim and Bae(1998)는 컨테이너 터미널에서 수출 컨테이너의 재배치에 관한 문제를 다루었으며 작업배분과 하역장비의 작업순서의 문제로 분할하여 해법을 제시하였다. 그렇지만 Kim and Bae(1998)가 제시한 방법은 이적작업에서 YT(Yard Tractor) 또는 AGV(Automated Guided Vehicle)와 같은 이송장비와 복수의 ATC(Automated Transfer Crane)를 필요로 하기 때문에 이 연구에서 다루는 자동화 컨테이너 터미널의 배치 형태에는 적용이 어렵다. Kim et al.(2000)은 수출 컨테이너의 무게 등급을 고려하여 재작업을 최소화하는 구체적인 장치위치 결정 문제를 다루었다.

윤 등(2003)은 자동화 컨테이너 터미널의 이적작업에 무작위(random) 할당방법과 DOS(Duration of stay) 할당방법을 적용시켜 양적하 작업과 반출입 작업에서 ATC의 작업시간 변화를 비교하였다. 그러나 이는 운영규칙에 대한 비교연구로서 구체적인 이적작업의 계획을 다루지 않았다. 강 등(2005)은 재작업 최소화를 고려한 이적작업에 대한 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. 그러나 이들은 적하 컨테이너를 이적할 목적 베이(bay)에 충분한 장치 공간이 항상 존재하고 베이 내에서의 반출 순서가 사전에 정해져 있다고 가정하였고 이적작업에 소요되는 비용 및 적하작업에서의 ATC 이동비용 등을 고려하지 않았다. 배 등(2008)은 자동화 컨테이너 터미널에서 수출 컨테이너의 시간적 가치를 고려한 이적작업 계획을 다루었다. 이들은 적하작업의 효율성을 높이도록 장치장의 공간을 고려하여 이적계획을 수립하는 방법을 제시하였지만 시간이 충분하게 주어진 경우를 가정하고 이적계획을 다루었다. 배·박(2011)은 컨테이너 터미널에 반입되는 수출컨테이너에 대하여 작업순서와 장치위치를 동시에 결정하는 문제에 대한 혼합정수 모형과 휴리스틱 방법을 제안하였다.

선행 연구들의 한계점을 살펴보면 이적작업과 관련된 기존 연구들은 가장 바람직한 재배치 형태를 제시하지만 YC의 작업가능시간을 고려하지 않았다. 따라서 본선작업과 반출입 작업으로 인해 배치형태가 계속적으로 변화되는 실제 컨테이너 터미널 상황에서는 적용에 한계가 있다. 실질적으로 이적작업이 수행되기 위해서는 YC가 일정한 유희시간 동안에만 양적하 및 반출입 작업효율을 최대화시킬 수 있는 작업을 선정하여 이적작업을 수행하여야 한다. 또한 YC의 이동시간 및 작업시간을 고려하여 작업 효율이 최대화되도록 선택된 이적작업

들에 대한 작업순서를 결정하여야 한다. 이 연구는 이러한 한계점을 해결하기 위해 실행 단계의 관점에서 시간 제약을 고려하여 YC의 작업할당 문제를 다루고자 한다.

2.2 문제정의

컨테이너 터미널은 장치장 블록의 배치 형태를 기준으로 크게 수평형 배치와 수직형 배치로 구분된다. 국내 대부분의 컨테이너 터미널은 수평형 배치로 분류되고 있다. 수평형 배치의 경우에 장치장 하역장비는 안벽 법선과 수평으로 이동하며 상하차 작업을 수행한다. 그리고 외부 이송장비가 장치장 내부로 진입 가능하기 때문에 내부 이송장비와 작업영역이 겹쳐지게 된다. 반면에 수직형 배치에서는 장치장 하역장비가 안벽 법선과 수직으로 이동하며 외부 이송장비의 장치장 내부 진입을 허용하지 않을 수 있다. 따라서 내외부 이송장비와 장치장 하역장비의 연계작업 공간의 분리가 가능하다(배 등, 2006).

따라서 대부분의 자동화 컨테이너 터미널은 수직형 배치 방식을 채택하고 있다. 무인으로 운행되는 내부 이송장비와 외부 반출입 트럭의 이동 흐름을 분리하여 차량 혼잡과 사고를 예방하는 것이 용이하기 때문이다. 대표적인 자동화 컨테이너 터미널인 네덜란드의 ECT(Europe Combined Terminal)와 독일의 CTA(Container Terminal Alternwerder) 등도 수직형 배치를 채택하고 있다. 이 연구도 자동화 컨테이너 터미널의 이적작업을 다루기 때문에 연구 대상을 Fig. 1과 같이 수직형 배치 컨테이너 터미널로 가정한다.

대상 컨테이너 터미널의 장치장 블록에는 수출 컨테이너와 수입 컨테이너가 혼재되어 장치된다. 따라서 장치장 블록에서 본선작업과 반출입작업을 위한 YC의 하역작업이 수행된다. 장치장 블록은 다수의 베이로 구성되고 1~2대의 YC가 블록 내의 모든 하역작업을 수행한다. 그러나 어느 한 블록에 배정된 YC는 다른 블록으로 이동하여 하역작업을 수행할 수는 없다. 이송장비가 블록 내로 진입할 수 없기 때문에 장치장 블록의 양끝에는 YC와 이송장비가 컨테이너를 넘겨주거나 받을 수 있는 연계작업 지점(Transfer Point: TP)이 필요하다. 블록의 해측 끝에는 본선작업을 위한 해측 TP가 있다. 여기서는 내부 이송장비와 YC의 연계 작업이 수행된다. 반출입작업을 위한 외부 트럭과 YC의 연계 작업은 블록의 육측 끝에는 있는 육측 TP에서 수행된다.

컨테이너 터미널에서는 공간 활용도를 높이기 위해 여러 단으로 컨테이너를 쌓아 보관한다. 따라서 YC가 적하작업 순서에 따라 블록 내 수출 컨테이너를 내부 이송장비에 전달하기 위해서는 재작업이 발생한다. 마찬가지로 반출작업의 경우도 재작업이 발생한다. 이때 재작업은 하단에 놓인 컨테이너를 꺼내기 위해 상단의 컨테이너를 다른 위치로 옮기는 작업을 의미하며 적하 및 반출작업시간을 증가시키는 요인이다. 따라서 YC가 재작업이 적게 수행되도록 적하작업과 반출작업 이전에

해당 컨테이너를 다른 위치로 옮기는 것이 하역작업의 생산성 향상에 도움이 된다.

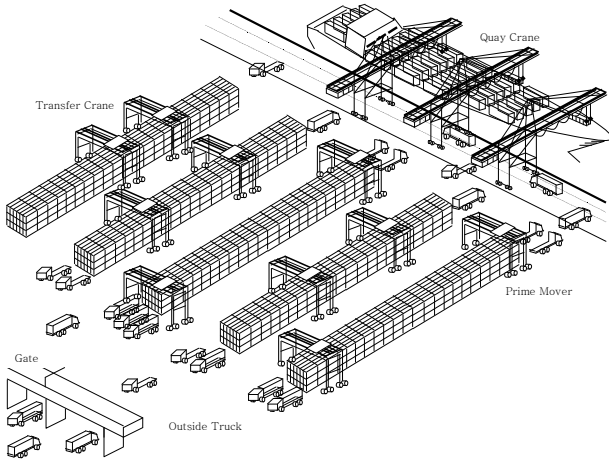


Fig. 1 An automated container terminal with a perpendicular layout

또한 수직 배치형 블록에서 이적작업은 작업시간을 단축시키는 효과가 있다. 선박에서 내려져 장치되는 수입 컨테이너를 해측 TP 가까운 위치에 장치시키는 것이 양하작업에서 YC 이동시간을 줄인다. 그러나 반출작업에서는 육측 TP에 가까운 위치에 있을 때 YC의 이동시간이 적게 소요된다. 따라서 이적작업을 통해 해측 TP 가까운 위치에 장치된 수입 컨테이너를 반출작업 이전에 육측 TP 가까운 장소로 옮기게 된다. 반면에 수출 컨테이너의 경우라면 반입 시에는 육측 TP 가까운 곳에 장치하지만 적하작업 이전에 이적작업을 통해 해측 TP 가까운 곳으로 옮기게 된다면 반입 및 적하작업시점에서의 YC의 이동시간을 단축시킬 수 있다.

본 연구는 자동화 컨테이너 터미널에서 작업효율을 증대시키기 위하여 YC의 유희시간에 이적작업을 할당하는 문제를 다루고 있다. 본 연구는 작업할당문제를 단순화하기 위해 블록에 1대의 YC가 작업하며, YC가 부하 또는 무부하 상태 상관없이 이동시간과 상차하시간이 동일한 것으로 가정하였고 이동시의 가속속은 고려하지 않았다.

3. 혼합정수모형과 수치예제

본 연구는 YC의 작업할당문제를 해결하기 위해 혼합정수계획모형을 개발하였다. 수리모형의 의사결정 변수는 다음과 같다.

x_{ij} : YC가 이적작업 i 를 수행하고 나서 이적작업 j 를 수행하면 1 아니면 0

c_i : 이적작업 i 의 완료시간

의사결정변수 외에 수리모형이 사용한 입력변수의 정의는 다음과 같다.

n : 요청받은 이적작업 수

S : 가상의 초기 이적작업(현재 YC의 위치)

T : 가상의 마지막 이적작업(완료 후 YC의 위치)

A_i : 이적작업 i 의 현재 장치위치

R_i : 이적작업 i 의 옮길 장치위치

T_{pd} : YC의 하차 및 장치작업시간

T_b : YC가 1 베이를 이동하는 소요시간

w_i : 이적작업 i 에 대한 가중치

C_{max} : YC의 최대 작업가능시간

혼합정수모형은 다음의 식(1)~(8)과 같다.

$$\max \sum_{i=1}^n \left\{ w_i \sum_{j=1}^T x_{ij} \right\} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{i=1}^n x_{Si} = 1, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{iT} = 1, \quad (3)$$

$$\sum_{i=S, i \neq j}^n x_{ij} \leq 1 \quad \forall j=1, \dots, n, T, \quad (4)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^T x_{ij} - \sum_{j=S, j \neq i}^n x_{ji} = 0 \quad \forall i=1, \dots, n, \quad (5)$$

$$c_i + T_b |R_i - A_j| + 2T_{pd} + T_b |A_j - R_j| - c_j \leq M(1 - x_{ij}) \quad (6)$$

$$\forall i \neq j \wedge i = S, 1, \dots, n \wedge j = 1, \dots, n, T,$$

$$c_T \leq c_{max}, \quad (7)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad \forall i, j = S, 1, \dots, n, T, \quad (8)$$

식 (1)은 작업할당 문제의 목적이 YC가 수행하는 이적작업들의 효과 최대화임을 의미한다. 여기서 w_i 는 이적작업의 효과를 의미하는 가중치다. 이는 배 등(2008)의 연구에서 제시한 바와 같이 이적작업과 관련된 본선작업의 긴급도를 고려하여 이적작업 시간가치로 산정될 수 있다. 식 (2)는 YC가 가상 첫 이적작업을 나타내는 현 위치에서 시작함을 식 (3)은 YC가 작업 완료 후 대기위치인 가상의 마지막 이적작업을 수행함을 의미한다. 식 (4)는 요청된 이적작업이 YC에 의해 최대 한번만 수행되어야 함을 의미하고 식 (5)는 이적작업의 흐름균형을 나타내는 제약이다. 식 (6)은 이적작업 순서 및 작업위치에 따른 작업시작시간과 이동시간 및 장치시간의 관계를 나타낸다. 식 (7)은 YC가 수행하는 마지막 순서의 이적작업 완료시간은 주어진 최대 작업가능시간 내에 이루어져야 함을 의미하고 식 (8)은 의사결정변수 x_{ij} 가 0 또는 1의 정수임을 나타내고 있다.

한정된 시간에 이적작업 수행여부와 작업순서를 결정하는 예를 살펴보기 위해 20개의 베일로 구성된 블록에 Table 1과 같이 7개의 요청 이적작업이 상위 계획에서 주어졌다고 가정

하자. 이때 YC의 이동과 관련된 T_b 는 0.5 단위시간(왕복은 1 단위시간), 인출 및 장치와 관련된 작업시간 T_{pd} 는 1 단위시간으로 설정하였다. 그리고 YC는 0번 베이(해측 TP)에 대기 중이고 마지막 이적작업을 수행한 다음에는 다시 0번 베이로 돌아와 대기하게 하였다. 주어진 값을 혼합정수모형에 대입하여 CPU 2.94GHz, 512MB RAM의 퍼스널 컴퓨터에서 LINDO R6.01를 이용하여 최적해를 구하였다. 수행되는 이적작업은 YC의 작업가능시간에 크게 의존한다. 따라서 작업가능시간을 10 단위시간, 20 단위시간, 30 단위시간, 40 단위시간, 50 단위시간, 60 단위시간의 6가지 경우에 대해 최적해를 구하여 비교하였다. 각 경우에 대해 최적해를 구하였을 때의 계산시간, 목적함수 값 그리고 작업순서는 Table 2와 같다.

Table 1 Remarshalling operations requested from planning

No	w_i	A_i	R_i
1	5	2	8
2	5	1	10
3	3	19	19
4	1	5	6
5	2	2	8
6	3	12	16
7	2	8	17

Table 2를 살펴보면 주어진 C_{max} 가 커질수록 수행하는 이적작업수와 목적함수값이 증가함을 알 수 있다. 또한 C_{max} 에 따라 YC가 수행하는 이적작업의 순서도 달라졌다. 예를 들어 작업가능시간 C_{max} 가 20 단위시간으로 주어질 때 YC는 해측 TP에서 1번 베이에 놓여있는 컨테이너를 10번 베이에 이적하고, 다시 2번 베이에 있는 컨테이너를 8번 베이에 장치한 다음 해측 TP로 돌아오게 된다. 이때 각 단계별 작업완료시간은 7분, 16분, 20분으로 계산되었다. C_{max} 값이 20, 30, 40인 경우의 작업순서는 Fig. 2, Fig. 3 그리고 Fig. 4에 제시되어있다. 각 그림에서 굵은 화살표는 YC가 이적작업을 수행하기 위하여 이동하는 것을 의미하며 원문자는 Table 1의 요청받은 이적작업 번호를 나타낸다.

Table 2 Optimal objective values, calculational times and sequences

C_{max}	목적 함수값	계산시간(초)	작업순서
10	5	33	0-1-0
20	10	66	0-2-1-0
30	13	98	0-2-6-1-0
40	17	143	0-2-6-3-4-1-0
50	20	114	0-2-5-7-3-6-1-0
60	21	175	0-2-7-3-6-5-4-1-0

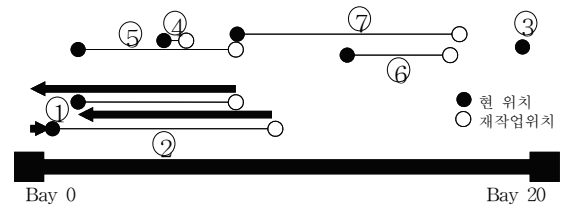


Fig. 2 Optimal operation sequence for $C_{max} = 20$

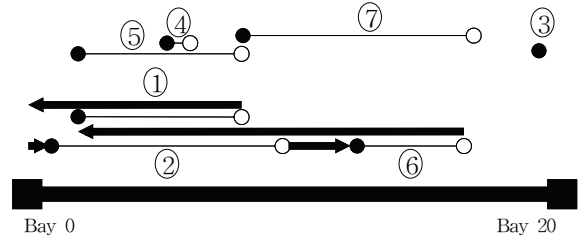


Fig. 3 Optimal operation sequence for $C_{max} = 30$

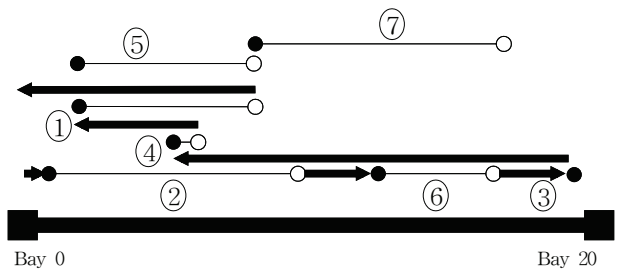


Fig. 4 Optimal operation sequence for $C_{max} = 40$

이적작업 작업순서 결정문제에 대한 최적해 수행시간의 변화를 확인하기 위하여 작업 대상수를 증가시키면서 계산시간을 구하였다. Fig. 5는 C_{max} 를 10 단위시간으로 설정하고 요청 이적작업 수를 증가시켰을 때 최적해를 구한 계산시간을 나타내고 있다. 요청 이적작업수가 커질수록 계산시간은 기하급수적으로 증가하며 작업수가 10개인 경우에는 최적해를 구하는데 6시간 이상 소요되는 것으로 나타났다. 실 현장에서는 이적작업 대상이 비교적 많으면서 상대적으로 작업가능시간은 적은 경우가 많으므로 빠른 시간 안에 좋은 해를 구하기 위해서는 보다 효율적인 접근이 필요하다.

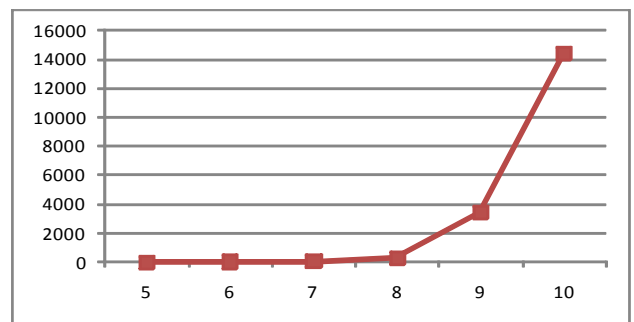


Fig. 5 Computational time(sec.) according to n for $C_{max}=10$

4. 작업할당 규칙

본 절에서는 빠른 시간 안에 좋은 성능의 해법을 찾기 위하여 작업할당 문제에 대표적으로 적용되고 있는 규칙들을 비교 평가하였다. 관련 선행 연구를 보면 컨테이너 터미널과 같은 동적 환경에서는 작업할당 규칙이 오히려 우수한 해를 제공하기도 하였다. Kim et al.(2003)은 수평형 배치 컨테이너 터미널의 반출입 작업에 대한 장치장 크레인의 작업할당 문제를 다루었다. 이들은 동적계획법을 이용하여 정적 문제에 대한 최적 모형을 개발하고 시뮬레이션을 통해 최적 모형과 4개의 일반적인 작업할당 규칙의 적용 결과를 비교하였다. 이때 작업할당 규칙의 결과가 평균 대기시간, 평균 이동거리, 장비 활용도 등에서 최적 모형과 유사하거나 오히려 우수한 성능을 보였다. 이 연구는 Kim et al.(2003)의 연구에서 다른 규칙 외에 이적작업의 가중치를 반영할 수 있는 규칙을 포함시켜 다음의 5가지 규칙을 검토하였다.

- ① Shortest Processing Time rule(SPT) : YC의 현 위치에서 주어진 시간을 고려하여 처리 가능한 작업 중에서 가장 빨리 완료할 수 있는 이적작업을 선택하여 수행한다.
- ② Maximum Weight rule(MW) : YC의 현 위치에서 처리 가능한 이적작업 중에서 가중치(w_i)가 가장 큰 이적작업을 선택하여 수행한다.
- ③ Maximum weight Ratio rule(MR) : YC의 현 위치에서 처리 가능한 작업 중에서 작업시간당 가중치(w_i)가 가장 큰 이적작업을 선택하여 수행한다.
- ④ Largest Processing Time rule(LPT) : YC의 현 위치에서 처리 가능한 작업 중에서 작업시간이 가장 큰 이적작업을 선택하여 수행한다.
- ⑤ Minimum Empty Travel distance rule(MET) : YC의 현 위치에서 처리 가능한 작업 중에서 빈 이동시간이 가장 작은(가장 가까운) 이적작업을 선택하여 수행한다.

5가지 할당규칙의 성능을 분석하기 위해 앞 절과 동일한 크기의 문제에 대하여 수치실험을 실시하였다. Fig. 6을 보면 제

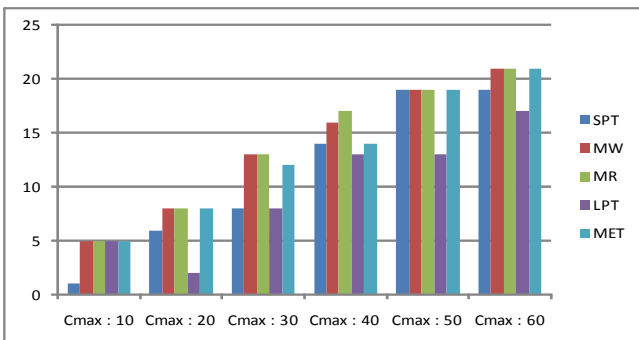


Fig. 6 Objective values for each dispatching rule according to variance of C_{max} for $n = 7$

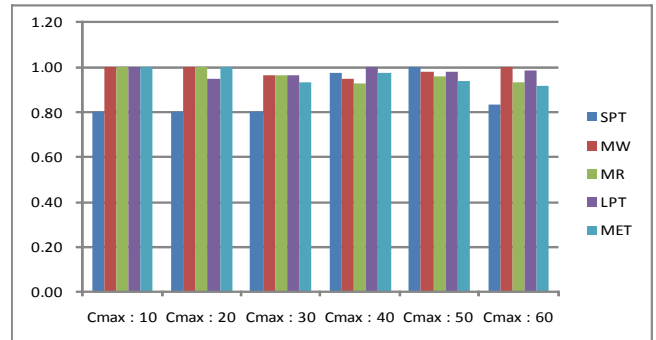


Fig. 7 Ratios of makespan/ C_{max} according to variance of C_{max} for $n = 7$

시된 할당규칙들이 최적해와 유사하거나 동일한 결과를 보여 주고 있다. 특히 5가지 규칙 중에서 MR과 MW 규칙이 좋은 결과를 보여주고 있다. Fig. 7은 각 할당규칙별로 주어진 가용 시간을 얼마만큼 활용하였는가를 보여주기 위해 최대가용시간에 대한 최종작업완료시간의 비율을 도식화한 것이다. Fig. 7을 보면 SPT를 제외한 다른 할당규칙 모두 주어진 시간을 95%이상 활용하고 있다.

5가지 할당규칙들의 성능을 비교하기 위하여 요청 이송작업 수가 10개이며 C_{max} 가 30인 경우와, 요청 이적작업 수가 50

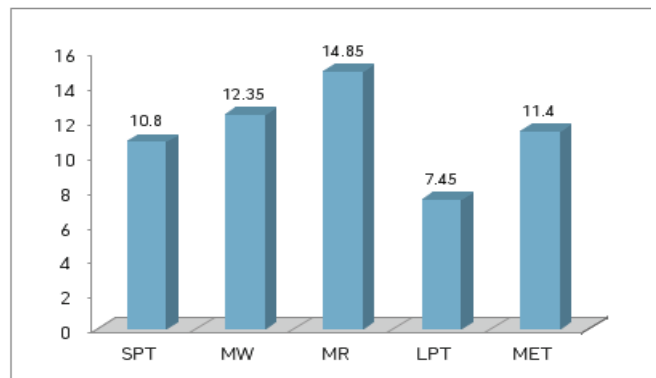


Fig. 8 Mean objective value of dispatching rules ($C_{max} = 30$ for $n = 10$)

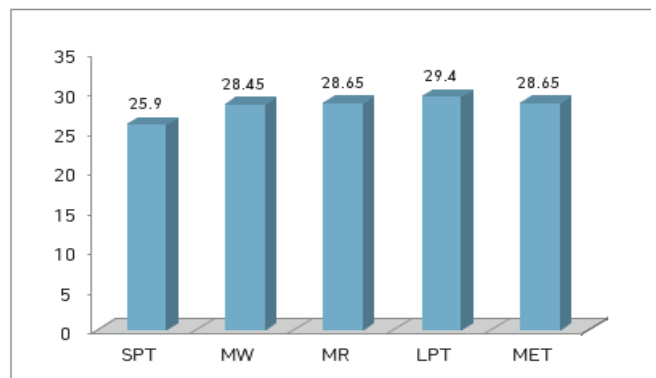


Fig. 9 Mean completion times of dispatching rules ($C_{max} = 30$ for $n = 10$)

5. 결 론

개이며 C_{max} 가 60인 두 가지 경우에 대하여 각각 20개씩 실험 데이터를 생성하였다. 작업의 현재 장치위치와 이적위치는 베이1과 베이20 사이에서 임의로 생성하였으며, 각 작업의 가중치는 1부터 5사이의 값 중에서 임의로 생성하여 실험하였다.

요청 이송작업 수가 10개이며 C_{max} 가 30인 경우의 실험 결과를 살펴보면 Fig. 8과 같이 MR 규칙이 가장 우수하며 그 다음으로 MW, MET 규칙이 우수한 것으로 나타났다. 이는 이적 작업 할당 시에는 작업의 가중치를 고려한 작업할당이 이루어져야 좋은 작업할당이 될 수 있음을 보여주고 있다. Fig. 9에서는 LPT 규칙이 주어진 가용시간을 가장 많이 활용하고 있다. MR 규칙이 중간정도이며 SPT가 가용시간에 대한 활용도가 가장 적었다.

요청 이적작업 수가 50개이며 C_{max} 가 60인 경우에는 Fig. 10에서 보는 바와 같이 MR 규칙이 가장 우수했으며, 그 다음으로 SPT 규칙과 MW 규칙이 비슷한 성능을 보이는 것으로 나타났다. Fig. 11에서는 LPT 규칙이 주어진 시간을 가장 많이 활용하고 SPT 규칙이 시간을 가장 적게 이용하는 것을 알 수 있다. 또한 요청 이적작업 수가 적은 경우와 많은 경우 모두에서 LPT의 성능이 가장 저조한 것으로 나타났다.

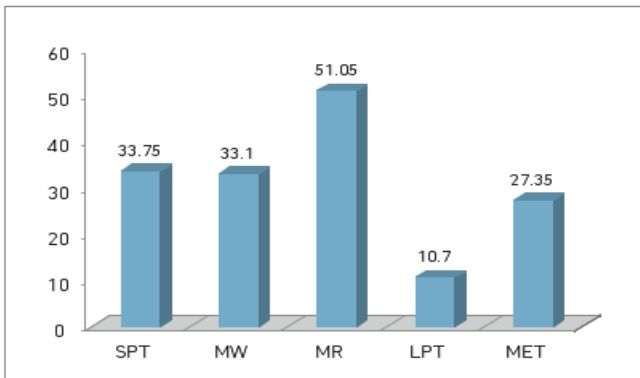


Fig. 10 Mean objective value of dispatching rules ($C_{max} = 60$ for $n = 50$)

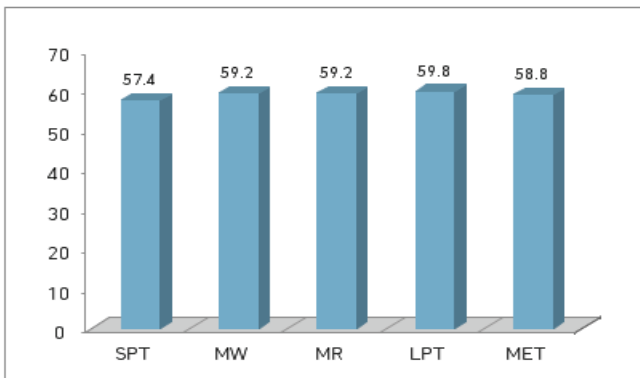


Fig. 11 Mean completion times of dispatching rules ($C_{max} = 60$ for $n = 50$)

이 연구는 이적작업을 위한 YC 작업할당 문제를 다루었다. 이 문제는 YC가 수행할 이적작업을 선정하고 이들의 작업순서를 정하는 것이다. 이때 작업가능시간에 대한 제약을 고려하여 이적작업 효과의 최대화가 목적이다. 혼합정수계획법을 이용하여 작업할당 문제에 대한 최적 모형을 개발하였다. 그리고 수리 모형을 적용하여 YC 작업할당에 따라 이적작업이 수행되는 과정을 설명하는 예제를 제시하였다. 그러나 수리모형은 이적작업 대상수가 많아지면 최적해를 구하기 위한 계산시간이 급격하게 증가한다. 따라서 최적 모형을 현실 문제에 적용하기에는 한계가 있다.

이 연구는 계산시간이 적고 확장이 쉽도록 생산일정계획에 많이 알려진 작업할당 규칙과 일부 응용 규칙을 YC 작업할당 문제에 적용시켜 보았다. SPT, MW, MR, LPT, MET 5가지 규칙에 대해 수치실험을 통해 성능을 비교하였다. 작업개수가 적은 경우이지만 최적해와 작업할당 규칙들을 비교할 때 목적함수 값들이 비슷하거나 동일함을 확인할 수 있었다. 그러므로 요청 이적작업 수가 적은 문제에 대해서는 검토한 작업할당 규칙이 실제 활용 측면에서 좋은 해법이 될 것이라 판단된다.

5가지 작업할당 규칙들간의 성능도 목적함수 값과 최종완료 시간의 측면에서 수치실험을 통해 비교되었다. 요청 이적작업 수와 최대 작업가능시간을 변화시켜 비교 규칙의 수행도를 살펴볼 때 이적작업의 개수가 적을 때는 MR, MW, MET 순으로 우수한 것으로 나타났으며 요청 이적작업 수가 많은 경우에는 MR, SPT, MW순으로 우수한 것으로 나타났다. 전체적인 관점에서 이적작업할당 규칙 중에서 MR이 가장 우수한 것으로 조사되었다.

YC 작업할당에 대한 최적 모형은 계산시간이 많이 소요되기 때문에 최적 모형과 작업할당 규칙의 성능을 충분히 비교하지 못한 한계가 있다. 따라서 검토한 할당 규칙이 얼마나 우수한 해법인지에 대해서는 민감도 분석을 포함하여 추가 분석이 필요하다. 그리고 문제의 특성을 보다 효과적으로 반영하는 효율적 규칙의 개발과 분석이 앞으로 수행되어야 할 것이다. 추후 연구에서는 동적 상황이 반영되는 시뮬레이션 실험을 통해 이적작업 할당 규칙에 대한 성능 평가가 필요하다고 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] 강제호, 오명섭, 류광렬, 김갑환(2005), “컨테이너 터미널 장치장에서 블록 내 이적을 위한 컨테이너 이동순서 계획”, 한국항해항만학회지, 29권, 제1호, pp. 83-90.
- [2] 박강태(1997), “모델변경의 용이성을 고려한 컨테이너 터미널의 공간할당계획”, 부산대학교, 석사학위논문.
- [3] 배중욱, 박영만, 김갑환(2008), “자동화 컨테이너 터미널에서 수직형 블록의 이적작업을 위한 할당 및 작업순서”, 한

국항해항만학회지, 제30권, 6호, pp. 457-464.

- [4] 배종욱, 박영만, 김갑환(2008), “시간가치를 고려한 자동화 컨테이너 터미널의 수출 컨테이너 이적계획”, 한국경영과 학회지, 제33권, 2호, pp. 75-86.
- [5] 배종욱, 박영만(2011), “수직 배치형 컨테이너 터미널 반입작업에서 수출 컨테이너의 작업순서와 장치위치 통합 의사결정”, 한국항해항만학회지, 제35권, 8호, pp. 657-665.
- [6] 윤원영, 이주호, 최용석(2003), “시물레이션을 이용한 자동화 컨테이너 터미널의 이적규칙에 관한 연구”, 한국시물레이션학회논문집, 제12권, 3호, pp. 21-29.
- [7] Kim, K. H. and Bae, J. W.(1998), “Re-marshalling export containers in port container terminals”, Computer & Industrial Engineering, Vol. 35, pp. 655-658.
- [8] Kim, K. H. and Kim, H. B.(1999), “Segregating space allocation models for container inventories in port container terminals”, International Journal of Production Economics, Vol. 59, pp. 415-423.
- [9] Kim, K. H. Lee, K. M. and Hwang, H.(2003), “Sequencing delivery and receiving operations for yard cranes in port container terminals”, International Journal of Production Economics, Vol. 84, pp. 283-292.
- [10] Kim, K. H., Park, Y. M. and Ryu, K. R.(2000), “Deriving decision rules to location export container in container yards”, European Journal of Operational Research, Vol. 124, pp. 89-101.

원고접수일 : 2012년 5월 31일

심사완료일 : 2012년 8월 19일

원고채택일 : 2012년 8월 20일