

# 자동화 컨테이너 터미널에서 이적작업을 위한 장치장 크레인 작업할당

\*배종욱 · 박영만†

\* 전남대학교 물류교통학전공, † 해군사관학교 국방경영과학과

**요 약** : 이적작업은 자동화 컨테이너 터미널에서 하역작업의 생산성을 높이는 중요한 운영 전략 중의 하나이다. 이는 장치장 크레인의 이동시간과 재작업을 줄이기 위해 장치장 블록 내 컨테이너들의 재배치하는 작업을 의미한다. 이적작업은 주로 크레인의 유휴시간에 수행되며 장치장 크레인의 추가적인 하역 작업을 요구한다. 이적작업계획이 수립된 후 작업할당 문제가 다루어진다. 크레인 작업할당 문제는 작업가능시간에 대한 제약을 고려하여 이적작업의 효과를 최대화시키기 위해 장치장 크레인이 처리할 이적작업을 선정하고 이들의 작업순서를 정하는 것이다. 본 연구는 혼합정수계획법을 이용하여 장치장 크레인의 작업할당 문제를 모형화 하고 실효적인 이용을 위해 수치실험을 통해 여러 작업할당 규칙의 수행도를 비교분석하였다.

**핵심어** : 컨테이너 터미널, 이적작업, 작업할당, 장치장 크레인, 혼합정수계획법, 작업할당 규칙

## 1. 서 론

컨테이너터미널의 하역생산성 제고를 위해 재작업 완하와 장치장 크레인(Yard Crane: YC)의 이동시간 단축을 위한 운영 전략 중 하나가 이적작업(remarshalling)이다. 이는 하역작업 전에 장치장의 컨테이너를 재배치하는 작업으로 본선작업과 반출입작업이 수행되지 않는 시간을 활용하여 수행된다. 본 연구는 자동화 컨테이너 터미널에서 이적작업을 위한 YC의 작업할당 문제를 다루었다. 이는 이적작업계획(배종욱 외2인, 2008)을 가정하고 작업가능시간 제약을 고려하여 이적작업 효과를 최대화하기 위해서 요청된 작업 가운데 어떤 작업을 YC가 수행하고 이들의 작업순서를 어떻게 할 것인지를 결정하는 것이다. 본 연구는 혼합정수계획법을 이용하여 YC 작업할당 문제를 모형화하였다. 그러나 최적화 모형은 계산시간의 한계로 현실에서 적용하기가 어렵기 때문에 본 연구는 작업할당 문제에 활용 가능한 여러 작업할당 규칙을 적용시켜 수치실험을 통해 이들의 수행도를 비교하였다.

## 2. 자동화 컨테이너 터미널의 이적작업

Kim과 Bae(1998)는 컨테이너 터미널에서 수출 컨테이너의 재배치에 관한 문제를 다루며 작업배분과 하역장비 작업순서의 문제로 분할하여 해법을 제시하였다. 이는 복수 이송장비와 복 YC를 필요로 하기 때문에 본 연구에서 다루는 배치 형태에는 적용이 어렵다. 윤원영 외 2인(2003)은 자동화 컨테이너 터미널의 이적작업에서 YC의 운영규칙에 대한 비교연구로서 구체적

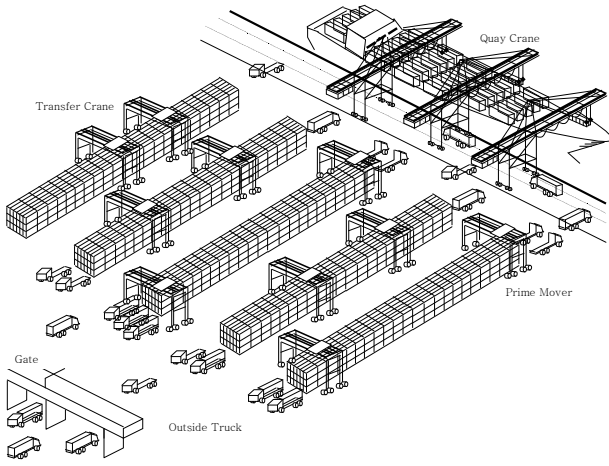
인 이적작업의 계획을 다루지는 않았다. 강재호 외 3인(2005)은 재작업 최소화를 고려한 이적작업에 대한 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. 그러나 이 연구는 적하 컨테이너를 이적할 목적 베이(bay)에 충분한 장치 공간이 항상 존재하고 베이 내에서의 반출 순서가 사전에 정해져 있다고 가정하고 이적작업에 소요되는 비용 및 적하작업에서의 ATC 이동비용 등을 고려하지 않았다. 배종욱 외 2인(2008)는 자동화 컨테이너에서 수출 컨테이너의 시간적 가치를 감안, 적하작업의 효율성을 높이도록 장치장의 공간을 고려한 이적계획 방법을 제시하였지만 작업시간이 충분하게 주어진 상황에서 이적계획을 다루었다.

기존 연구들은 이적작업의 바람직한 재배치 형태를 제시하지만 YC의 작업가능시간을 고려하지 않음으로 인하여 본선작업과 반출입 작업으로 인해 배치형태가 계속적으로 변화되는 실제 컨테이너 터미널 상황에서는 적용에 어려움이 있었다. 따라서 실질적인 이적작업이 수행되기 위해서는 YC가 일정한 유휴시간 동안에만 양적하 및 반출입 작업효율을 최대화시킬 수 있는 작업을 선정하는 YC 작업할당 문제가 다루어져야 한다.

본 연구는 Fig. 1과 같이 장치장 블록이 수직형으로 배치된 자동화 컨테이너 터미널의 이적작업을 다루었다. 각 장치장 블록에는 수출 컨테이너와 수입 컨테이너가 혼재되어 장치된다. 따라서 장치장 블록에서는 본선작업과 반출입작업을 위한 YC의 하역작업이 수행되어야 한다. 장치장 블록은 다수의 베이로 구성되고 1대에서 최대3대 정도의 YC가 블록 내의 모든 하역작업을 수행한다. 그러나 어느 한 블록에 배정된 YC는 다른 블록으로 이동하여 하역작업을 수행할 수는 없다. 장치장 블록의 양끝에는 YC와 이송장비가 컨테이너를 넘겨주거나 받기 위한 해측 또는 육측 연계작업 지점(Transfer Point: TP)이 있다.

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

† 교신저자 : 연희원, ymanpark@pusan.ac.kr 055)549-1228



**Fig. 1** An automated container terminal with a perpendicular layout

수직 배치형 블록으로 구성되는 자동화 컨테이너에서 이적작업은 재작업과 YC 이동시간을 줄이는데 큰 기여를 할 수 있다. 본 연구는 자동화 컨테이너 터미널에서 작업효율을 증대시키기 위하여 YC의 유휴시간에 이적작업을 할당하는 문제를 다루고 있다. 본 연구는 작업할당문제를 단순화하기 위해 블록에 1대의 YC가 작업하며, YC가 부하 또는 무부하 상태에 상관없이 이동시간과 상차하시간이 동일한 것으로 가정하였고 이동시의 가속은 고려하지 않았다.

### 3. 혼합정수모형

본 연구는 YC의 작업할당문제를 해결하기 위해 혼합정수계획모형을 개발하였다. 수리모형의 의사결정 변수로는 YC가 이적작업  $i$ 를 수행하고 나서 이적작업  $j$ 를 수행하면 1 아니면 0이 되는  $x_{ij}$ 와 이적작업  $i$ 의 완료시간을 의미하는  $c_i$ 가 있다.

의사결정변수 외에 수리모형이 사용한 입력변수는 다음과 같다.  $n$ 은 요청받은 이적작업 수를 나타내며  $S$ 와  $T$ 는 각각 가상의 초기 이적작업(현재 YC의 위치)와 가상의 마지막 이적작업(완료 후 YC의 위치)를 의미한다.  $A_i$ 는 이적작업  $i$ 의 현재 장치위치를 표현하고  $R_i$ 는 이적작업  $i$ 의 옮길 장치위치를 의미한다. YC의 하차 및 장치작업시간과 YC가 1 베이를 이동하는 소요시간은  $T_{pd}$ 와  $T_b$ 로 정의하였고  $w_i$ 는 이적작업  $i$ 에 대한 가중치 그리고  $C_{max}$ 는 YC의 최대 작업가능시간을 의미한다. 혼합정수모형은 다음의 식(1)~(11)과 같다.

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

subject to

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

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

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

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

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

$$\forall i \neq j \wedge i = S, 1, \dots, n \wedge j = 1, \dots, n, T, \quad (7)$$

$$c_T \leq c_{max}, \quad (8)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad \forall i, j = S, 1, \dots, n, T, \quad (9)$$

식 (1)은 작업할당 문제의 목적이 YC가 수행하는 이적작업들의 효과 최대화임을 의미한다. 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 이적작업은 YC가 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.

### 4. 작업할당 규칙

본 절에서는 빠른 시간 안에 좋은 해를 구하기 위하여 다음과 같은 5가지 작업할당 규칙에 대해 수행도를 비교분석하였다.

- 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.

Fig. 2는 제시된 5가지 할당규칙을 이용하여 해를 구한 결과를 보여주고 있다. 이적작업수가 적은 경우(7개)에는 MR, MW, MET순으로 좋은 결과를 보여주고 있다. Fig.3은 각 할당 규칙별로 주어진 가용시간을 얼마만큼 활용하였는가를 최종작업 완료시간과 대비하여 제시하고 있다. SPT규칙을 제외하고 다른 할당규칙들은 모두 주어진 시간을 95%이상 활용하고 있는 것을 알 수 있다.

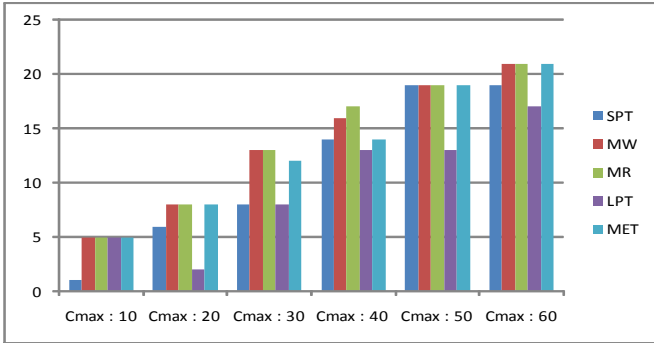


Fig. 2 Objective values for each dispatching rule according to variance of  $C_{max}$  for  $n = 7$

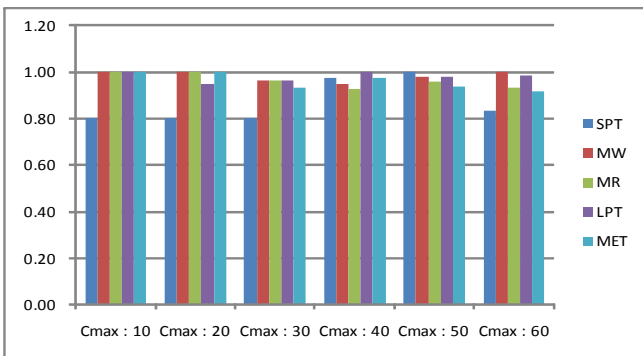


Fig. 3 Ratios of makespan/ $C_{max}$  according to variance of  $C_{max}$  for  $n = 7$

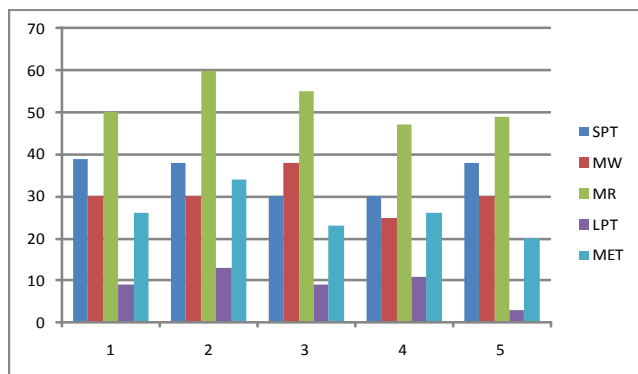


Fig. 4 Objective value of dispatching rules according to variance of  $C_{max} = 60$  for  $n = 50$  (5 data sets)

Fig. 4와 Fig. 5는  $C_{max}$ 가 60이고 작업개수가 많은 경우인 50

개에 대하여 5가지 데이터를 사용하여 실험을 수행하였다. 이적작업개수가 많은 경우에는 MR이 가장 우수했으며, 그 다음으로 SPT 규칙이 우수한 것으로 나타났다. Fig. 5에서는 LPT 규칙과 MET 규칙이 주어진 시간을 많이 활용하는 것을 알 수 있다. 따라서 MR이나 SPT 규칙이 적은 시간을 활용하면서도 효율성이 높은 이적작업을 선택하는 것을 알 수 있다.

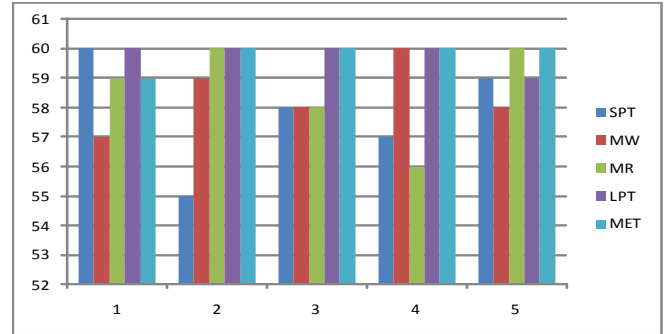


Fig. 5 Completion times of dispatching rules according to variance of  $C_{max} = 60$  for  $n = 50$  (5 data sets)

## 5. 결 론

본 연구는 작업가능시간에 대한 제약을 고려하여 이적작업의 효과를 최대화시키기 위해 YC가 수행할 이적작업을 선정하고 이들의 작업순서를 정하는 작업할당 문제를 다루었다. 혼합정수계획법을 이용하여 작업할당 문제를 모형화했지만 이적작업 대상수가 많아지면 최적해를 구하기 위한 계산시간이 급격하게 증가하여 현실 적용에는 한계가 있다. 따라서 본 연구는 실효적인 이용을 위해 수치실험을 통해 여러 작업할당 규칙의 수행도를 비교하였다. 향후에는 블록에 여러 대의 YC가 운영되는 터미널에 대하여 실질적인 데이터를 이용하여 이적작업 할당 규칙을 분석하고자 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 강재호, 오명섭, 류광렬, 김갑환(2005), "컨테이너 터미널 장치장에서 블록 내 이적을 위한 컨테이너 이동순서 계획", 한국항해항만학회지 29권 1호, pp. 83-90.
- [2] 배종욱, 박영만, 김갑환(2008), "시간가치를 고려한 자동화 컨테이너 터미널의 수출 컨테이너 이적계획", 한국경영과학회지 33권 2호, pp. 75-86.
- [3] 윤원영, 이주호, 최용석(2003), "시물레이션을 이용한 자동화 컨테이너 터미널의 이적규칙에 관한 연구", 한국시물레이션학회논문집 12권 3호, pp. 21-29.
- [4] Kim, K.H. and Bae, J.W. (1998). "Re-marshalling export containers in port container terminals", Computer & Industrial Engineering 35, pp. 655~658.