

컨테이너 터미널에서 다수 야드 크레인의 이적작업 일정계획

† 박영만

† 해군사관학교 국방경영학과

요 약 : 최근 컨테이너 터미널에서는 환적화물의 증가로 터미널내의 이적작업이 증가함에 따라 효율적인 이적작업 계획을 수립하고자 노력하고 있다. 본 연구는 블록내에서 다수의 야드 크레인이 운영되고 있는 경우에 주어진 시간내에 각 크레인 별 최적 이적작업 계획을 수립하는 문제에 대한 혼합정수법을 이용한 최적 수리모형을 제시하였다. 또한 실제 터미널에서 빠른 시간 안에 이적작업계획을 수립할 수 있는 발전적 기법을 제시하고 다양한 수치예제 실험을 통하여 유용성을 검증하였다.

핵심용어 : 컨테이너 터미널, 이적작업, 혼합정수법, 야드 크레인

1. 서 론

최근 우리나라 항만에서는 중국의 경제성장과 세계 선사들의 허브항을 통한 컨테이너 운송 전략에 따라 환적화물 컨테이너가 꾸준히 증가하고 있다. 이로 인하여 컨테이너 터미널에서는 효율적인 이적작업 방안이 요구되고 있다. 또한 주요 항만들의 하역장비 자동화가 지속적으로 이루어짐에 따라 효율적인 하역장비 운영에 대한 요구도 더욱 증대되고 있다. 본 연구에서는 컨테이너 터미널에서 증가하는 이적작업에 대하여 야드에서의 주요 하역장비인 자동화 야드 크레인의 효율적인 이적작업 일정계획을 수립하는 연구를 수행하였다.

2. 문제 정의

본 연구는 자동화 컨테이너 터미널의 야드에서 작업을 수행하는 자동화 야드 크레인(Automated Yard Crane:AYC)의 이적작업결정에 대한 의사결정문제를 다루었다. Fig. 1과 같이 장치장 블록은 다수의 베이(Bay)로 구성되고 여러 대의 AYC가 해당 블록(Block)의 하역작업을 수행한다.

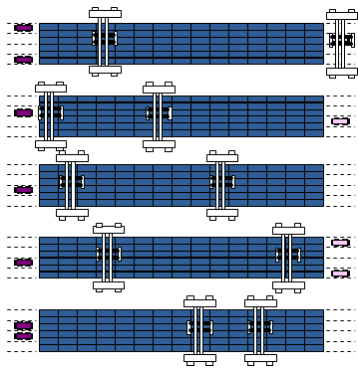


Fig. 1 Automated yard cranes in container terminal yard

컨테이너 터미널의 장치장에서 본선작업과 반출입작업에 대한 하역작업 요청이 무작위로 발생한다. 또한 효율적인 본선작업과 반출입작업 수행을 위하여 컨테이너를 육측이나 해측TP에 가까운 위치로 재배치하는 이적작업이 필요하며 야드 크레인의 유휴시간을 활용하여 이적작업을 수행하게 된다. 본 연구는 장치장에서 AYC에 이적작업을 지시할 수 있는 작업여유시간이 있는 경우 각 AYC에 이적작업 대상과 이적작업순서를 결정하는 문제를 다루었다.

3. 혼합 정수 모형

혼합 정수 모형에 사용된 변수는 다음과 같다.

c : AYC $c = 1, 2, \dots, C$. 증가순으로 정렬되어있다.

x_{ij}^c : 야드 크레인이 작업 i 를 작업하고 나서 작업 j 를 수행하면 1 아니면 0.

y_{ij} : 작업 i 가 끝나기 전에 작업 j 를 시작하면 1 아니면 0. 의사결정변수 외에 수치모형이 사용한 입력변수의 정의는 다음과 같다.

S, T : 가상의 초기 작업(S) 및 가상의 마지막 작업(T)

A_i : 작업 i 의 현재장치위치

R_i : 작업 i 의 재취급 위치

T_{pd} : 야드 크레인의 하차 및 장치작업시간

T_b : 야드 크레인이 1 베이를 이동하는 소요시간(부하, 무부하 동일하게 가정)

T_{max} : YC의 최대 작업가능시간

T_i : 작업 i 의 완료시간

L_c : 야드크레인 c 의 초기 및 최종 위치

w_i : 작업 i 에 대한 가중치

† 교신저자 : 정희원, ymanpark@pusan.ac.kr

Θ : 작업의 안전상 동시 작업이 불가능한 작업들($(\max(A_i, R_i) > \min(A_j, R_j)) \wedge (\min(A_i, R_i) < \max(A_j, R_j))$)
 혼합정수모형은 다음의 식(1)~(11)과 같다.

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

subject to

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

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

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

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

$$T_i + T_b |R_i - A_j| + 2T_{pd} + T_b |A_j - R_j| - T_j \leq M(1 - x_{ij}^c) \quad (6)$$

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

$$T_i + 2T_{pd} + T_b |A_j - R_j| - T_j \leq M(1 - y_{ij}) \quad (7)$$

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

$$y_{ij} + y_{ji} = 1 \quad \forall (i, j) \in \Theta, \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^c \sum_{l=1, l \neq j}^n x_{lj}^k - \sum_{k=1}^c \sum_{l=1, l \neq i}^n x_{li}^k = M(y_{ij} + y_{ji}) \quad (9)$$

$$\forall i, j = 1, \dots, n, \max(A_i, R_i) < \min(A_j, R_j), \quad \forall c = 1, \dots, C,$$

$$Y_c \leq T_{\max} \quad \forall c = 1, \dots, C, \quad (10)$$

$$T_j + T_b |L_c - R_j| - Y_c \leq M(1 - x_{jT}^c) \quad (11)$$

$$\forall j = 1, \dots, n, T, c = 1, \dots, C,$$

$$x_{ij}^c, y_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad \forall i, j = S, 1, \dots, n, T, \quad \forall c = 1, \dots, C, \quad (12)$$

$$T_i, Y_c \geq 0 \quad \forall i = S, 1, \dots, n, T, \quad \forall c = 1, \dots, C, \quad (13)$$

식 (1)의 목적함수는 작업을 수행하는 컨테이너에 대한 가중합을 최대화하는 것으로 주어진 작업 시간내에 가장 효율적인 재취급 작업을 수행함을 의미한다. 식 (2)는 작업을 시작하는 가상의 첫 작업을 나타내며 식 (3)은 가상의 마지막 작업을 의미한다. 식 (4)는 작업은 최대 한번 수행되어야 함을 의미하고 식 (5)는 작업의 흐름균형을 나타내는 제약이다. 식 (6)은 작업순서 및 작업위치에 따른 작업 수행완료(장치)시간을 의미한다. 식 (7)은 변수 y_{ij} 의 값이 1인 경우에 작업 완료시간의 관계를 나타내고, 식 (8)은 작업의 안전상 동시 작업 수행이 불가능한 작업들에 대한 제약을 나타낸다. 식(9)는 YC간의 특성을 고려한 간섭이 발생하지 않도록 한다. 식 (10)은 각 YC의 작업완료시간은 주어진 시간내에 완료되어야 함을 의미한다. 식(11)은 각 크레인의 마지막 작업을 수행시 해당 작업의 완료시간을 결정한다. 식(12)와 (13)은 각 변수들이 값을 가질 수 있는 범위를 나타내고 있다.

Table 1은 (배종욱 박영만, 2012)에서 사용된 단일 AYC의 이

적작업 결정에 사용된 동일한 데이터를 사용하여 AYC가 두대인 경우의 이적작업 일정을 수립하였다.

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

두 AYC의 초기위치 양끝쪽 이송지점(0,G)에 위치하는 것으로 가정하였다. 실험 결과 Table 2에서 보는 바와 같이 T_{\max} 값이 증가할수록 목적함수의 값은 증가하며 수행시간도 증가함을 알 수 있다. 하지만 T_{\max} 가 30이상이면 작업에 비해 시간이 충분하여 최적해를 금방 찾을 수 있다.

Table 2 The optimal remarshalling schedule

T_{\max}	최적값	수행시간	AYC#1	AYC#2
10	8	173초	0-1-0	G-6-G
15	12	252초	0-1-4-0	G-6-3-G
20	16	301초	0-2-1-0	G-3-6-G
25	19	343초	0-1-5-4-0	G-3-2-6-G
30	21	2초	0-2-1-6-0	G-5-4-7-3-G

4. 결 론

본 연구에서는 컨테이너 터미널의 야드에서 다수의 자동화 야드 크레인에 의해 수행되는 이적작업에 대한 일정계획 문제를 혼합정수모형을 제시하였다. 또한 LINGO 프로그램을 통한 간단한 문제에 대한 최적해를 제시하였다. 추후 연구과제로 실제 현장에서 활용할 수 있는 휴리스틱 알고리즘을 제시하여 그 성능을 비교분석하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] 배종욱, 박영만, 김갑환, (2008), “시간가치를 고려한 자동화 컨테이너 터미널의 수출 컨테이너 이적계획”, 한국경영과학회지, 제33권, 제2호, pp. 75-86
- [2] 배종욱, 박영만, (2011), “수직 배치형 컨테이너 터미널 반입작업에서 수출 컨테이너의 작업순서와 장치위치 통합 의사결정”, 한국항해항만학회지, 제35권, 제8호, pp. 657-665
- [3] Kim, K.H., Bae, J.W., (1998). Re-marshalling export containers in port container terminals. Computer & Industrial Engineering 35, 655-658
- [4] Kim, K.H., Park, Y.-M., (2004). A crane scheduling method for port container terminals. European Journal of Operational Research 156, 752-768