

# 효율적인 듀얼 사이클을 위한 야드 트랙터 통제 방법

정창윤\* · † 신재영

\*한국해양대학교 물류시스템학과 대학원, † 한국해양대학교 물류시스템학과 교수

## Efficient Yard Tractor Control Method for the Dual Cycling in Container Terminal

Chang Yun Chung\* · † Jae Young Shin

\*Graduation school of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

† Department of Logistics Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**요 약** : 오늘날 글로벌 수·출입 공급망 내에서 항만 하역작업의 효율성은 아주 중요하다. 해상운송에서는 컨테이너화와 더불어 늘어나는 화물량을 극복하기 위해서 초대형선의 운항이 일반화 되고 있다. 따라서 컨테이너 터미널의 관리자들은 안벽작업의 효율성을 극대화하기 위하여 더블 사이클과 듀얼 사이클 방법을 시도하고 있다. 또한, 야드 트랙터의 할당의 효율성을 높이기 위해서 야드 트랙터 풀링 방법이 제시되었다. 본 논문에서는 기존의 풀링 방법들과 듀얼 사이클을 고려한 풀링 방법의 비교를 통해서 듀얼 사이클의 효율성을 분석하였다. YT 할당 모형은 시뮬레이션 분석 소프트웨어인 Arena를 이용하여 수립되었다. 실험결과 듀얼 사이클이 많은 것이 항상 크레인 생산성을 높이는 것은 아닌 것으로 분석되었다.

**핵심용어** : 컨테이너 터미널, 더블 사이클, 듀얼 사이클, 야드 트랙터, 시뮬레이션

**Abstract** : Recent global supply chain, improving the efficiency of container shipping process is very important. In the overseas shipping of goods, the voyage of super containership is common to overcome amount of increasing cargo. Thus, container terminal managers make an experiment on the double cycle and dual cycle operation, which ship loading and unloading were carried out simultaneously, for maximizing the productivity of quay side. Yard Tractors(YTs) pooling methods also are introduced for increasing the efficiency of assignment of YTs. In this paper, we analyzed the efficiency of dual cycling through comparing existing pooling methods with the modified method for the dual cycling. We developed a simulation model using simulation analysis software, Arena. The result of experiment shown that the more dual cycling don't always increase the gross crane rate(GCR), which means productivity of quay cranes(QCs) per hour.

**Key words** : container terminal, double cycle, dual cycle, yard tractor, assignment problem, simulation

### 1. 서 론

오늘날 글로벌 수·출입 공급망 사슬관리에 있어서 항만의 운영 효율성은 아주 중요하다. 해상운송에서는 컨테이너화와 더불어 늘어나는 화물량을 극복하기 위해서 초대형선의 운항이 일반화 되고 있다. 이에 따라 컨테이너 항만에서는 점점 늘어나는 화물들을 보다 효율적으로 양·적화하기 위한 새로운 항만 운영 기법들이 연구되고 있다. 컨테이너 터미널에서는 안벽작업의 효율성을 극대화하기 위하여 더블 사이클과 듀얼 사이클 방법이 소개되었고, 야드 트랙터(Yard Tractor : YT) 할당의 효율성을 높이기 위해서 YT 풀링 방법이 제시되었다. 더블 사이클은 하나의 안벽 크레인(Quay Crane: QC)이 양·적 하 작업을 동시에 처리하여 생산성을 높이는 방식이다. 그리고 듀얼 사이클은 서로 다른 QC가 있을 때 하나는 적하, 다른 하나는 양하 작업을 하고 있다면 그 두 QC에 대해 동일한 YT를 할당하는 방법이다. 더블 사이클이나 듀얼 사이클, YT

풀링은 이미 일부 선진 터미널에서 시행되고 있고, 그에 따른 많은 연구가 진행되고 있다. 선행 연구를 살펴보면 Goodchild and Daganzo (2006, 2007)는 크레인 더블 사이클 운영의 양·적 하 작업 순서를 결정하기 위한 효율적인 알고리즘을 제시하고 더블 사이클 운영의 도입이 컨테이너 터미널에 미치는 영향을 평가하였다. 송(2007)은 기존의 연구가 우리나라 실정에 맞지 않다고 판단하여 작업 모션의 컨테이너 적재 상황에 따라 더블 사이클 최적 시작지점을 산출하는 공식을 제시하고, 이를 위한 두 가지 야드 운영 방안을 제안하였다. 정·신(2009)은 기존에 연구된 더블 사이클과는 다른 듀얼 사이클 방식에 대해서 유전알고리즘과 타부 서치를 이용하여 새로운 QC 일정계획을 제시하였다. Zhang and Kim(2009)은 더블사이클 횟수를 최대화하기 위해서 변형된 존슨규칙과 로컬 서치방법을 통합하는 하이브리드 휴리스틱을 제시하고, 실제 데이터를 이용하여 효율성을 검증하였다.

지금까지의 연구는 주로 안벽에서의 운영에 대해 야드에서

\* 연회원, ccy1443@hhu.ac.kr 051)410-4931

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

의 추가적인 정체가 없을 것으로 가정하고 시행된 연구들이었다. 터미널 운영의 특성상 안벽 효율성을 높이기 위해서는 적절한 야드 운영방법과 YT 통제 시스템이 필요하다. 야드에 관한 연구로는 정·신(2011)이 수출입 야드 블록의 할당방법을 3가지로 나누어 정리하고, 듀얼 사이클 운영 시 효율성에 대해서 비교하였다. 그리고 YT나 AGV와 같은 이송장비에 대한 연구로는 Briskorn et al.(2006)이 due-time 방법과 인벤토리 방법을 제시하고, 두 방법의 효율성을 시뮬레이션을 이용하여 비교하였다. Kim and Bae (2002)는 수직형 터미널에서의 AGV 풀링 방법에 대한 정수계획법 모형을 제시하고, 다음 작업들을 고려하는 Look-ahead 방식을 이용하여 지연 시간이 줄어드는 것을 증명하였다. Petering(2010)는 RTGC(Rubber Tyred Gantry Crane)와 YT를 사용하는 수평형 터미널을 시뮬레이션을 이용하여 분석하였다. 김정민 외 3(2011)은 수직 자동화 터미널 환경에서의 기존의 단일 규칙 기반 배차 전략의 한계를 극복하기 위한 복수 규칙 기반의 배차 전략을 제안하였다. 하 외(2004)는 수직블록 배치형태를 가지며 안벽과 야드의 연계작업을 수행하는 이송장비로 AGV를 사용하는 자동화 터미널에 대한 시뮬레이션 모델을 수립하고 다양한 환경에서 생산성을 분석하였다. 배 외(2008)은 이송장과 하역을 수행할 수 있는 새로운 장비인 ALV(Automated Lifting Vehicle)를 사용하는 터미널 시스템을 시뮬레이션 모형으로 구축하였다.

듀얼 사이클과 더블 사이클 모두 동시에 양·적하 작업을 처리 할 수 있어서 작업 효율성이 향상된다. 하지만 두 방식 모두 야드의 운영방식과 YT 통제 시스템이 얼마나 뒷받침되느냐에 따라 효율성이 달라질 수 있고, 더블 사이클의 경우 선박 구조적 제약에 의해서 실제로 적용하기 힘든 부분이 있다. 따라서 본 논문에서는 다양한 YT 통제 시스템을 살펴보고 듀얼 사이클의 효율성을 극대화하기 위한 YT 통제 시스템을 제시하겠다.

## 2. 듀얼 사이클과 야드 트랙터 통제 시스템

기존의 터미널의 운영 시스템에서는 양하 작업을 모두 마

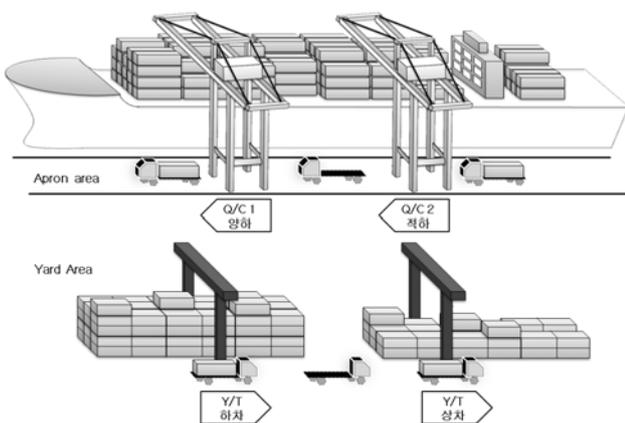


Fig. 1 Unloading and loading with dual cycling

친 후 적하 작업을 시작한다. 이에 반해 YT 듀얼 사이클 작업은 Fig. 1과 같이 안벽(Apron)에서 적하와 양하를 동시에 하는 방법이다. 그리고 이러한 작업이 원활하게 이루어지기 위해서는 야드에서의 추가적인 정체가 없어야 한다. 즉, 야드의 배치와 운영규칙에 따라 효율성의 차이가 클 수 있다.

### 2.1 데디케이트 방법과 풀링 방법의 비교

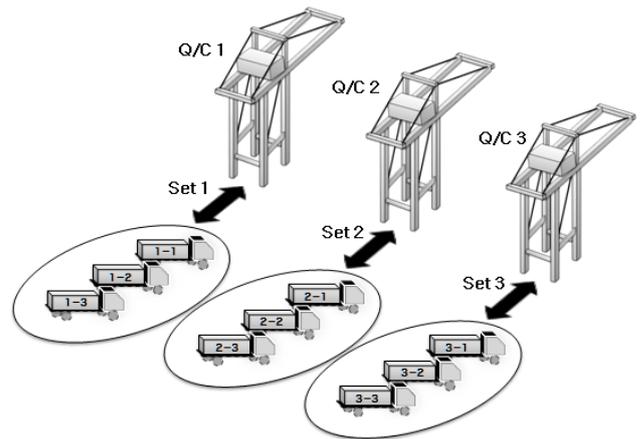


Fig. 2 Dedicated System

기존의 시스템은 Fig. 2와 같이 YT를 조별로 운영하는 경우가 많았다. 하지만 조별 운영의 경우 공차 운행 거리가 늘어나는 경향이 있어서 최근에는 아래 Fig. 3과 같이 풀링 시스템으로의 전환이 이루어지고 있다.

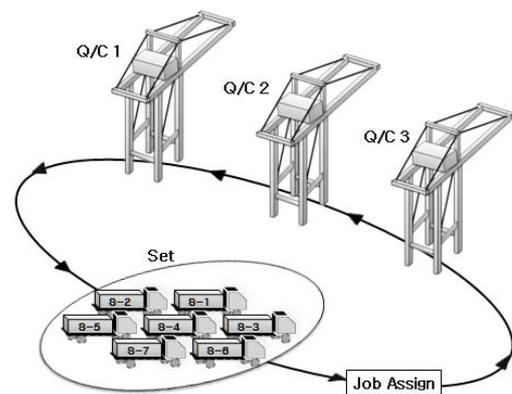


Fig. 3 Pooling System

풀링 시스템의 경우 실시간 모니터링 시스템의 기반으로 각 QC의 작업을 가장 가까운 YT에 할당하는 방법이다. 풀링 시스템의 경우 작업을 할당하는 규칙에 따라서 그 효율성이 달라질 수 있다.

### 2.2 YT 풀링 방법

본 연구에서는 YT 풀링 방법에 대한 기존 연구인 Briskorn

et al.(2006)의 due-time 방법과 인벤토리 방법을 사용하고 듀얼 사이클을 좀 더 발생시키는 방법을 비교하였다.

1) Due-time 방법

Due-time 할당 방법은 다음과 같은 전통적인 earliness-tardiness 목적함수를 사용하는 방법이다.

$$c_{ja} = \begin{cases} \alpha_E(d_j - f_j^q) + \alpha_e e_{ja} & \text{if } f_j^q < d_j \\ \alpha_T(f_j^q - d_j) + \alpha_e e_{ja} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$d_j$ 는 작업  $j$ 의 due-time을 의미한다. due-time은 안벽 크레인이 해당 작업을 시작할 수 있는 시간을 의미한다. 즉, 이전 작업이 다 완료되고 난 다음 시점이다. 양하의 경우 빈 이송장비가 크레인 아래에 도착될 수 있는 시간이고, 적하의 경우 컨테이너를 실은 상태로 크레인 아래에 도착될 수 있는 시간을 의미한다.  $f_j^q$ 는  $j$ 작업을  $q$ 크레인이 처리할 수 있는 시간의 추정치를 의미하는데, 이송장비  $a$ 가  $q$  크레인 아래에 도착하는 시간이다.  $d_j$ 와  $f_j^q$ 의 차이에 의해서  $c_{ja}$  값이 계산되는데, 만약 due-time보다 빨리 도착하면  $\alpha_E$ 만큼의 가중치를 가지고, 늦게 도착하면  $\alpha_T$ 만큼의 가중치를 가지게 된다.  $e_{ja}$ 는 공차운행 거리를 의미하는데, due-time을 맞추면서 공차운행을 최소화하기 위해서 설정되었다.

이렇게  $n$ 개의 작업과  $m$ 대의 YT가 있을 때, 각각의  $c_{ja}$ 를 계산하여 헝가리안 메소드를 사용하여  $c_{ja}$ 의 총합이 최소가 되도록 작업을 할당하게 된다.

2) 인벤토리 방법

인벤토리 방법은 각 QC의 작업 할당 상태(재고)를 고려하여 다음 작업을 할당하는 방법이다.

Fig. 4와 같이 각 QC의 YT 할당 상태에 따라서 QC의 재고 수준을 계산할 수 있다. 만약 LPM>Loading Preference Multiplier)는

	QC 3	QC 2	QC 1
예약작업	60D43 60D43 60D43 60D43	30D20 30D20 30L20 30L20	02D40 02D40 02D40 02D20
LPM=3	12	8	12
LPM=2	8	6	8

$$LPM \times e_{ja}$$

재고 수준이 가장 낮은 QC에 우선할당되는 경우가 대부분임

Fig. 4 Inventory based approach

이 2라고 한다면 QC1의 재고 수준은  $2 \times 2 + 1 \times 2 = 6$ 으로 계산된다. 양하 작업의 경우 해당 QC 작업이 완료 되는 순간 다음 작업이 가능하지만 적하의 경우 야드에서 컨테이너를 상차한 다음 QC 작업의 완료되어야 하므로, 더 많은 시간이 소요된다. 따라서 LPM은 적하 컨테이너의 야드 위치가 QC에서 멀어지면 멀어질수록 더 큰 수를 대입하여 해당 QC의 작업이 다른 QC의 작업보다 더 우선적으로 YT를 할당 받을 수 있게 된다.

3) 듀얼 사이클을 고려한 YT 할당 방법

앞서 설명한 방법을 사용하지 않더라도 일반적으로 YT폴링을 사용하면 효율성이 더 좋아진다고 알려져 있다. 하지만 YT 폴링의 효과를 좀 더 올리기 위해서는 좀 다른 접근 방법이 필요하다. 실제로 인벤토리 방법의 경우 양하와 적하의 가중치 차이와 대기시간과 공차운행을 줄이는 목적함수에 의해서 크레인 생산성을 높일 수 있게 되는데, 실제 실험해본 결과 적하 작업에 몰리는 YT가 순간적으로 증가하게 되었다.

	QC 4	QC 3	QC 2	QC 1
예약작업	60L43 60L43 60L43 60L43	30D20 30D20 30L20 30L20	22D20 22D20 22D20 22D20	02D20
LPM=3	4	8	12	3
LPM=2	4	6	8	2

Case 1: QC3의 작업을 끝내고 QC1에 할당되는 경우

Case 2: QC3의 작업을 끝내고 또 다른 적하 작업에 할당되는 경우

Fig. 5 Inventory based approach

Fig. 5의 Case 1을 살펴보면 QC 3의 작업을 처리한 YT가 QC 2 혹은 QC 1로 진행을 하면 듀얼 사이클을 발생시킬 수 있지만, Case 2와 같이 LPM의 영향으로 QC 4에 할당된다면 효율성이 떨어질 수도 있다. 물론 QC 4의 적하작업이 전체 작업에서 더 높은 우선순위를 가질 수도 있다.

따라서 본 연구에서는 Fig. 5의 Case 1과 같이 모든 작업에 대해서 듀얼 사이클이 발생할 수 있도록 강제적으로 할당하는 방법을 사용했다. 이 실험이 듀얼 사이클과 적하작업의 우선순위를 비교해 볼 수 있는 기회가 될 수 있다.

### 3. 시뮬레이션 모형

#### 3.1 시뮬레이션을 위한 가정과 모수

시뮬레이션을 수행하기 위해 다음과 같이 가정하고, 모수를 설정하였다.

- 부산 신항의 실제 터미널과 동일한 구조를 가지는 가상의 터미널을 생성.
- Yard Crane(야드 크레인, YC)의 대수는 블록 당 1대로 하고 작업속도는 삼각분포(1.2, 2.0, 2.5)분으로 하였음.
- QC 작업속도는 삼각분포(1.0, 1.5, 2.0)분으로 하였음.
- QC 작업 시 선박에서의 작업 위치를 고려하지 않으며, Twin Lift도 고려하지 않음.
- YT는 QC당 4대로 설정하고, 각각의 속도는 시속 25km를 적용하였음.

야드 크레인의 경우 QC에 비해서 작업 속도가 느리고, YT에 컨테이너를 상·하차하는 프로세스가 YT기사와 YC기사의 숙련도에 따라서 속도의 편차가 심해질 수 있다. 그리고 현재 터미널의 데이터베이스 정보만으로는 온전한 야드 크레인의 속도를 구하는 것이 매우 어렵다.

QC의 선박 양·적하작업의 경우 좌우로 움직이는 시간이 별도로 필요하지만, 실험에서는 이러한 움직임은 무시되었다. 그리고 작업 시간도 선박의 상태, 작업 위치에 따라서 편차가 심하다. 예를 들면, 양·적하 지점이 Deck(햇치 커버 위)일 경우와 Hold(햇치 커버 아래)일 경우에 따라 많은 시간의 차이가 존재한다. 또한, 안벽 인력들의 오류나 추가적인 정체의 원인들이 있을 수 있기 때문에 실제 상황을 실험에 완벽하게 적용하는 것은 매우 어렵다고 할 수 있다.

### 3.2 야드 배치도

실험을 수행하기 위한 야드 블록 배치는 Fig. 6과 같다. A-D까지 각각 3개의 레인을 가지는 총 12개의 블록을 설정하였다. 실제로 부산 신항의 여러 터미널들이 위와 같은 구조를 가진다. 기본적으로 블록 사이의 수평통로는 일방통행이며 신항의 경우는 4차선으로 되어 있어서 통로에서 정체는 거의 없다고 할 수 있다. 수직통로는 양방향 주행이 가능하고, 추가적으로 안벽과 게이트의 수평 통로도 양방향 통행이 가능하다.

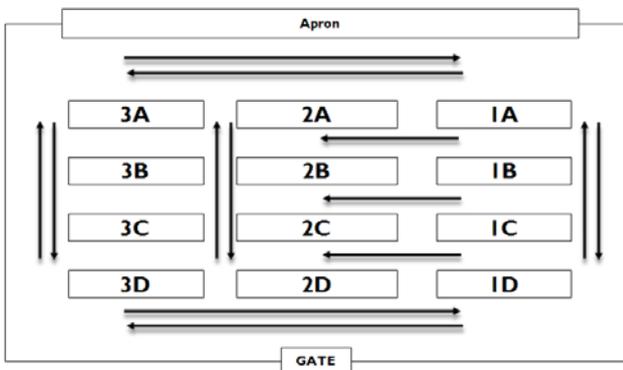


Fig. 6 Yard layout used for the experiment

### 3.3 시뮬레이션 활동 다이어그램

실험에 사용된 시뮬레이션 모형은 Rockwell Software Arena 13.9를 이용하여 구축하였다. 추가적인 Arena에 대한

정보는 Kelton et. al.(2008)과 Rossetti(2009)를 참고할 수 있다.

#### 1) 안벽 작업

안벽 작업 활동 다이어그램은 Fig. 7과 같다.

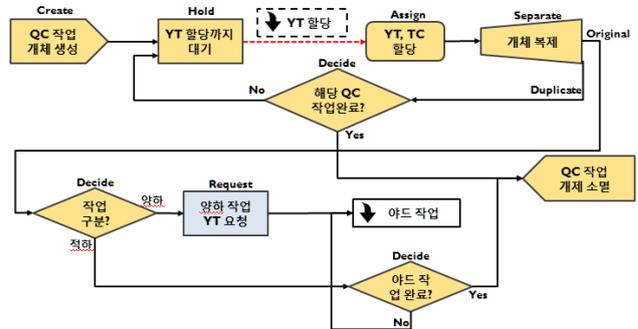


Fig. 7 The activity diagram of sea-side job

일반적인 안벽 작업의 흐름과 같으며, YT 할당 모듈이 중간에 개입하여 YT 할당이 끝나면 안벽 작업을 끝내고 야드 작업으로 이어진다.

#### 2) YT 할당 작업



Fig. 8 The activity diagram of YT assign

YT 할당 작업은 VBA모듈을 이용하여 구현하였다. 매 5초마다 YT와 QC 작업을 검색하여 Due-time이나 인벤토리 방식으로 할당하게 된다.

## 4. 실험 및 분석

### 4.1 입력 자료

실험을 위해 실제 터미널의 작업 데이터를 이용하였다. 입력 자료는 Table 1과 같이 투입 크레인 대수와 작업의 양에 따라 총 14가지로 구성되었다. 실험의 출력값은 GCR(Gross Crane Rate)와 YT 이용률로 정하였다.

### 4.2 결과 분석

Table 2부터 Table 4까지는 각 케이스 별로 50회 반복수행을 한 결과이다.

데디케이팅 방식은 GCR이 30개를 넘는 것이 하나도 없고, 거의 대부분이 20개 정도로 낮은 경우도 많았고, 평균이 24개 정도로 나타났다. 각 케이스별 GCR 편차도 다른 방법에 비해서 큰 편이다. 풀링 시스템을 사용하는 실제 터미널에서는 시간당 크레인 생산성을 30개정도 유지하는 것을 목표로 하고 있는데, 데디케이팅 시스템에서는 몇몇 케이스를 제외하면 30

Table 1 Input Data set

No.		크레인 대수	평균 양 · 적하 작업개수
1	T_2_1	2	286.0
2	T_2_2	2	617.0
3	T_3_1	3	160.3
4	T_3_2	3	202.3
5	T_3_3	3	245.3
6	T_3_4	3	293.3
7	T_4_1	4	195.3
8	T_4_2	4	274.3
9	T_4_3	4	365.3
10	T_5_1	5	162.8
11	T_5_2	5	186.0
12	T_5_3	5	316.6
13	T_5_4	5	332.4
14	T_5_5	5	514.2

Table 2 Computational Result(Dedicated system and Due-time based approach)

No.	데디케이트		Due-time	
	GCR	YT 이용률	GCR	YT 이용률
T_2_1	29.71	0.8842	28.97	0.8155
T_2_2	29.35	0.8991	28.45	0.7915
T_3_1	19.90	0.5614	22.08	0.6054
T_3_2	27.73	0.8224	30.42	0.7993
T_3_3	19.71	0.5951	21.40	0.5755
T_3_4	28.67	0.8533	29.65	0.7913
T_4_1	23.94	0.7176	26.93	0.7505
T_4_2	21.46	0.6538	22.56	0.6893
T_4_3	27.90	0.8853	28.71	0.7792
T_5_1	22.39	0.6647	23.78	0.7008
T_5_2	20.70	0.6702	22.10	0.6513
T_5_3	24.93	0.7915	24.57	0.8113
T_5_4	24.19	0.7796	26.03	0.7280
T_5_5	25.93	0.8165	26.65	0.7434
<b>평균</b>	<b>24.75</b>	<b>0.7568</b>	<b>25.88</b>	<b>0.7309</b>

개를 달성하는 것이 불가능 하였다. 실험에서 20ft 컨테이너 2개를 동시에 작업하는 Twin Lift는 고려하지 않았기 때문에 이러한 결과를 보이는 것이다. 실제 터미널에서도 선박의 작업위치가 Hold보다는 Deck 쪽을 작업하고 있을 때와 Twin Lift 작업이 많을 때 GCR이 30개가 넘어가는 경우가 많다.

데디케이트 방식의 경우 YT 이용률에서도 평균 75%정도를 유지했는데, 이는 투입된 YT의 전체 중에서 75%에 해당하는 YT들을 평균적으로 활용하고 있다는 것을 의미한다. 특히 데디케이트 방식과 Due-time방식의 YT 이용률과 인벤토리 방식의 YT 이용률이 아주 차이가 크게 나타나는데, 이는 Due-time 방식의 경우 난수를 사용하는 시뮬레이션의 특성상

정확한 예측이 어렵기 때문에 YT가 효율적으로 할당되지 못했다는 것을 의미한다.

Due-time 방식에서는 GCR이 평균이 25.88개로 나타났다. 폴링 시스템을 사용하였으나 데디케이트 시스템에 비해 효율성이 그다지 높지 않다.

Table 3 Computational Result(Inventory based approach)

No.	인벤토리(LPM=3)		인벤토리(LPM=1)	
	GCR	YT 이용률	GCR	YT 이용률
T_2_1	29.45	0.9653	28.81	0.9593
T_2_2	29.74	0.9725	29.79	0.9643
T_3_1	22.20	0.9267	23.40	0.9242
T_3_2	33.00	0.9359	32.76	0.9101
T_3_3	25.04	0.9727	24.68	0.9343
T_3_4	30.49	0.9580	31.66	0.8975
T_4_1	37.60	0.9188	35.08	0.8742
T_4_2	25.10	0.9466	27.02	0.9490
T_4_3	24.10	0.9650	28.30	0.9525
T_5_1	27.51	0.9100	26.19	0.8667
T_5_2	23.67	0.9397	26.85	0.8746
T_5_3	27.02	0.9291	29.18	0.9292
T_5_4	30.41	0.9556	30.41	0.9292
T_5_5	28.29	0.9670	30.39	0.9635
<b>평균</b>	<b>28.12</b>	<b>0.9474</b>	<b>28.89</b>	<b>0.9235</b>

Table 4 Computational Result(dual cycling system)

No.	듀얼 사이클 고려	
	GCR	YT 이용률
T_2_1	29.98	0.8995
T_2_2	29.97	0.9641
T_3_1	23.26	0.9229
T_3_2	29.48	0.8919
T_3_3	23.31	0.9365
T_3_4	30.30	0.9315
T_4_1	34.90	0.8627
T_4_2	29.92	0.9453
T_4_3	32.73	0.9427
T_5_1	26.40	0.8803
T_5_2	25.95	0.8918
T_5_3	28.91	0.9516
T_5_4	29.81	0.9530
T_5_5	30.73	0.9637
<b>평균</b>	<b>28.98</b>	<b>0.9241</b>

Table 3을 살펴보면, 인벤토리 방식의 경우는 LPM의 값에 따라 효율성이 달라진다. 본 논문에서는 LPM을 각각 3과 1로 설정하여 실험을 하였다. LPM이 3일 경우는 평균 GCR이 28.12개이며, LPM이 1일 경우에는 평균 GCR이 28.89개로 나

타났다.

듀얼 사이클을 고려한 할당방법은 평균 크레인 생산성이 28.98로 나타났으며, 이는 LPM=1을 적용한 인벤토리 방법보다 조금 나은 결과이다.

테디케이트 방식과 나머지 폴링 방식을 비교해 보면 T\_2\_1, T\_2\_2의 경우에는 테디케이트 방식이 다른 폴링 방식보다 GCR이 더 높게 나타난다. 이것으로 YT 폴링의 효과는 투입된 크레인의 대수가 적을 때 보다는 많을 때 잘 나타난다는 것을 알 수 있다.

Table 5를 살펴보면 강제로 듀얼 사이클을 적용한 방법이 다른 방법보다 듀얼 사이클 횟수가 많다. 하지만 각 케이스 별 GCR과 비교해 보았을 때, 반드시 듀얼 사이클을 강제 적용하는 방법이 GCR이 높은 것은 아니다. 듀얼 사이클을 강제적으로 적용하는 것이 무조건 좋은 결과를 보이는 것은 아님을 알 수 있다.

Table 5 Computational Result(the Number of dual cycling)

No.	듀얼 사이클 횟수 비교		
	인벤토리 (LPM=3)	인벤토리 (LPM=1)	듀얼사이클 고려
T_2_1	44.4	43.3	59.8
T_2_2	65.3	67.3	80.2
T_3_1	77.5	77.9	88.8
T_3_2	27.1	27.6	30.3
T_3_3	84.6	77.1	120.4
T_3_4	83.8	86.3	85.7
T_4_1	53.2	56.2	55.1
T_4_2	146.8	143.5	167.2
T_4_3	183.3	179.1	225.2
T_5_1	86.9	84.5	104.2
T_5_2	53.9	90.4	118.8
T_5_3	256	264.6	278.2
T_5_4	153.6	148.8	221.1
T_5_5	514.9	531.4	562.0

## 5. 결 론

실험 결과 인벤토리를 이용한 방법들이 크레인 생산성, YT 이용율, 듀얼 사이클 측면에서 좋은 결과를 나타내었다.

듀얼 사이클을 고려한 YT할당 방법을 인벤토리 방법에 적용하였으나, 모든 경우에서 GCR이 향상되지는 않았다. 듀얼 사이클을 무조건 많이 이용하는 것이 항상 크레인 생산성을 향상시켜주지는 않는다는 것을 알 수 있었다.

연구의 한계점으로는 외부트럭의 작업을 고려하지 못한 점과 전체 터미널 수준에서 실험을 실시하지 못한 점을 들 수 있다. 만약 전체 터미널에서 여러 선박이 집안한 상태를 모델링 하였다면, 폴링의 효과를 좀 더 확실하게 증명할 수 있을

것이다. 야드의 리핸들링에 대해서도 추가적으로 연구해 보는 것이 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김정민, 최이, 박태진, 류광렬(2011), “자동화 컨테이너 터미널의 복수 교착 기반 AGV 배차전략 최적화”, 한국항해항만학회지, 제35권, 제6호, pp.501-507
- [2] 배종욱, 최상희, 김창현, 박순오(2008), “컨테이너 터미널의 ALV 시스템을 위한 시뮬레이션 모형”, 한국시뮬레이션학회 논문지, 제17권, 제4호, pp.29-39.
- [3] 송장호(2007), “컨테이너터미널에서의 Double cycle 하역 기법의 최적 운영방안”, 한국해양대학교 석사학위논문.
- [4] 정창윤, 신재영(2009), “컨테이너 터미널의 효율적인 선적작업을 위한 듀얼 사이클 계획”, 한국항해항만학회지, 제 33권, 제8호, pp. 555-562
- [5] 정창윤, 신재영(2011), “컨테이너 터미널의 효율적인 듀얼 사이클을 위한 야드 운영”, 한국항해항만학회지, 제35권 제1호, pp.71-76.
- [6] 하태영, 최용석, 김우선(2004), “시뮬레이션을 이용한 자동화 컨테이너 터미널의 AGV 운영평가”, 한국항해항만학회지, 제28권, 제10호, pp.891-897.
- [7] Briskorn D, Drexl A, Hartmann S(2006), “Inventory-based dispatching of automated guided vehicles on container terminals”, OR Spectrum vol.28, pp. 611-630.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Kelton W.D, Sadowski R.P, Sturrock D.T(2008), “Simulation with Arena, 4th Edition”, McGraw-Hill.
- [11] Petering M(2010), “Development and simulation analysis of real-time dual-load yard truck control systems for seaport container transshipment terminals”, OR Spectrum, vol.32, pp.633-661
- [12] Rossetti M.D(2009), “Simulation Modeling and Arena”, John Wiley & Sons.
- [13] Zhang H, Kim K.H(2009), “An optimal layout of container yards”, Computers and Industrial Engineering, vol.56, pp.979-992.

원고접수일 : 2011년 12월 1일

심사완료일 : 2012년 2월 3일

원고채택일 : 2012년 2월 6일