한국항해항만학회지 제33권 제5호, pp. 331~337, 2009 (ISSN-1598-5725)
Journal of Navigation and Port Research

듀얼 트롤리형 컨테이너 크레인의 버퍼공간 분석을 위한 시뮬레이션 연구

최용석† · 원승환*

† 순천대학교 물류학과 조교수, *한국해양수산개발원 해양물류연구부

A Study on Simulation for Buffer Space Analysis of Container Crane with Dual Trolley

*Yong-Seok Choi† · Seung Hwan Won**

† Department of Logistics, Sunchon National University, Suncheon 540-742, Korea
** Port Management & Operation Team, Korea Maritime Institute, Seoul 121-270*

요 약 : 컨테이너 크레인은 컨테이너터미널에서 사용되는 주요 장비이면서 컨테이너 크레인의 효율은 컨테이너터미널의 생산성을 결정한다. 컨테이너 크레인의 전형적인 유형은 싱글 트롤리를 가지고 있으며 진보된 유형들 중의 하나가 듀얼 트롤리형이다. 본 논문의 목적은 컨테이너 터미널에서 듀얼 트롤리형 컨테이너 크레인의 버퍼 사이즈를 분석하는 것이다. 듀얼 트롤리형 컨테이너 크레인의 버퍼 공간을 분석하기 위한 시뮬레이션 모델을 소개한다. 버퍼 공간은 해측의 메인 트롤리와 야드측의 세컨드 트롤리 사이에 위치한다. 요구 생산성을 추정하기 위해 다양한 시뮬레이션 실험을 수행하여 버퍼 사이즈를 분석한다.

핵심용어 : 컨테이너터미널, 컨테이너 크레인, 버퍼, 듀얼 트롤리, 생산성

Abstract : *Container crane is main equipment in container terminals and it determines the productivity and the efficiency of container terminals. The typical type of container cranes has the single trolley and one among advanced types of them has the dual trolley. The objective of this paper is to analyze the buffer size of a container crane with the dual trolley in container terminals. We present a simulation model for analysing the buffer space of a container crane with the dual trolley. The buffer space is located between main trolley in sea-side and second trolley in yard-side. We performs various simulation experiments and analyze the buffer size to estimate the required productivity.*

Key words : *container terminal, container crane, buffer, dual trolley, productivity*

1. 서 론

국가 간의 교역량 증가에 따라 해운산업은 급속하게 성장하고 있으며, 컨테이너물동량도 향후 10년 동안 5-6% 증가될 것으로 예측되고 있다. 특히 경제성장이 급속하게 진행되는 동북아 지역은 향후 전 세계 교역량의 32% 이상을 차지할 것으로 전망되고 있다.

이러한 컨테이너물동량의 증가에 따라 컨테이너 선박의 대형화가 급속도록 진행되고 있어 최근에는 1만TEU급 이상의 컨테이너선이 해마다 100척 이상 발주되고 있어, 2015년 이내에 1만5천TEU급 컨테이너선의 등장이 예상되고 있다(최 등, 2007).

컨테이너선의 대형화에 따라 항만에서는 동일한 시간 내에 처리해야 할 컨테이너 취급량이 이전보다 많아지게 되어 고생산성의 물류시스템이 필요하게 되었다. 물류시스템의 생산성을 향상시키기 위해서는 각 하역장비의 하드웨어적인 측면과 소프트웨어적인 측면이 함께 고려되어야 한다. 그리고 선사에 대한 항만의 서비스 측면에서는 선박의 재항시간을 감소시키는 것이 가장 중요하며, 이러한 기능을 1차적으로 담당하는 장비는 선박의 컨테이너를 싣고 내리는 컨테이너 크레인(Container Crane; C/C)이다.

국내 컨테이너터미널의 C/C는 시간당 생산성이 약 25개로 아시아 경쟁항만에 비해 낮으며, 컨테이너 선박의 선형이 커지면서 일시적인 작업물량 증가를 수용하기에는 부족한 상황이다. 따라서 선박의 대형화와 작업물량의 증가로 인해 생산성 향상에 대한 요구가 제기되고 있는 실정이다(하 등, 2005). 이러한 상황에 대처하기 위해 주요 항만들은 고생산성의 하역장비를 도입하려 하고 항만 하역장비 제작업체들은 획기적인 생산성 향상을 위한 새로운 개념의 하역장비 개발에 관심을 기울이고 있다(원 등, 2008).

† 교신저자 : 최용석(종신회원), drasto@sunchon.ac.kr 061)750-5115
* 정회원, shwon@kmi.re.kr 02)2105-2886

기존 연구에서 생산성 향상을 위해 제시되고 있는 개념들은 기계적인 성능의 향상, 작업 사이클의 분해, 배치(Batch) 처리 방식의 도입 등으로 구분될 수 있다(정 등, 2005). 그러나 고생산성을 달성하기 위해서는 이러한 개념들을 복합적으로 도입하여 안정적으로 운영하는 것이 필요하다.

이를 위해서 본 연구에서는 기계적인 성능 향상, 작업 사이클 분해, 배치 처리방식의 도입 등을 복합적으로 고려하는 듀얼 트롤리형 C/C의 기본 개념을 바탕으로 한다. 구조적인 측면에서 듀얼 트롤리형 C/C의 하역작업 시에 두 개의 트롤리로 작업 사이클을 분해하는 버퍼플랫폼을 이용하여 텐덤작업을 적용하도록 하였다. 또한 시뮬레이션 모델을 개발하여 버퍼공간의 버퍼사이즈 검토, 버퍼사이즈 영향 분석, 배차간격 분석 등을 통하여 듀얼 트롤리형 C/C의 버퍼공간을 효율적인 이용하기 위한 방안에 대하여 분석하였다.

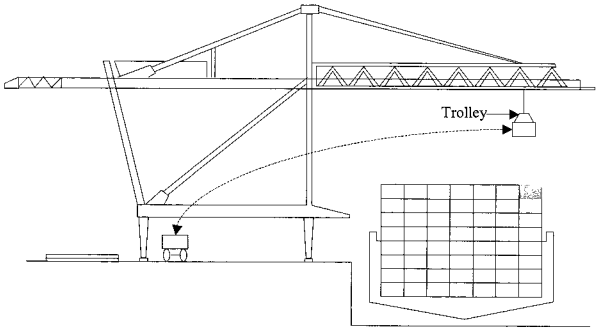
따라서 듀얼 트롤리형 컨테이너 크레인의 버퍼공간을 시뮬레이션 방법을 이용하여 분석하기 위하여 2장에서 컨테이너 크레인의 구조를 설명하며, 3장에서 버퍼공간에 대한 작업사이클 및 버퍼플랫폼 대기행렬구조를 분석한다. 그리고 4장에서는 개발된 시뮬레이션 모델을 이용하여 버퍼공간에 대해 분석한 결과를 제시하고 마지막으로 본 연구의 결론을 제시한다.

2. 컨테이너 크레인의 구조

국내의 일반적인 컨테이너터미널에서 설치·운영되고 있는 안벽장비는 Fig. 1과 같이 싱글 트롤리(Single Hoist Single Trolley, SHST)형의 C/C에 해당한다.

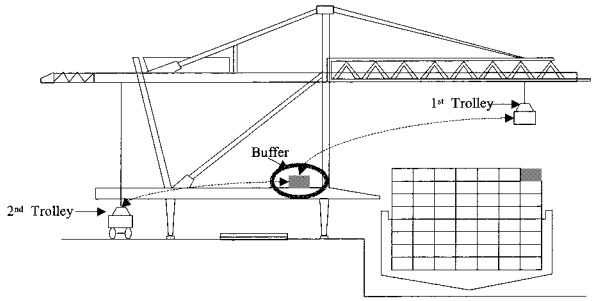
C/C에 부착된 1개의 트롤리가 선박의 컨테이너를 싣고 내리는 방식을 취한다. 1개의 트롤리에 의한 단독선회작업으로 기계적인 성능은 시간당 사이클 횟수로 50회 정도에 이른다.

이러한 싱글 트롤리형 C/C의 사이클 한계를 극복하기 위해 Fig. 2와 같이 사이클을 2구간으로 구분한 듀얼 트롤리(Dual Trolley)형 C/C가 등장하였다. 듀얼 트롤리형 C/C는 중앙부분에 임시 컨테이너 버퍼공간(Buffer Platform)을 두고 2개의 트롤리가 전체 작업거리를 분담하는 형식이다. 따라서 버퍼하역작업이 추가로 발생하며, 버퍼공간의 크기에 따라 트롤리간의 작업간섭이 발생될 수 있다.



자료 : 최 등(2007), "고효율 컨테이너 크레인의 개념 모델 및 적용효과 분석", 해양정책연구, 22권 2호, p.129 참조

Fig. 1 Container Crane with single trolley



자료 : 최 등(2007), "고효율 컨테이너 크레인의 개념 모델 및 적용효과 분석", 해양정책연구, 22권 2호, p.130 참조

Fig. 2 Container crane with dual trolley

이러한 개념적인 발전 외에도 한 번에 집을 수 있는 컨테이너의 수량을 늘리려는 시도에 따라 20' 컨테이너 2개를 동시에 집는 트윈 스프레더(Twin Spreader)와 20' 컨테이너 4개 혹은 40' 컨테이너 2개를 동시에 집을 수 있는 텐덤 스프레더(Tandem Spreader)가 사용되고 있다(원과 최, 2007; 최와 원, 2006).

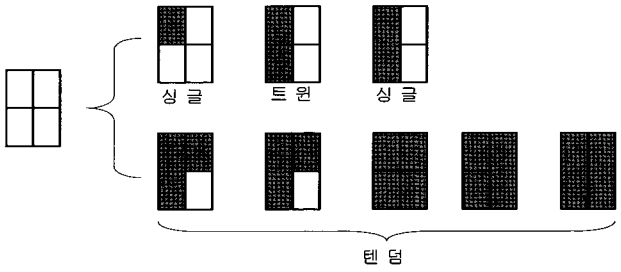


Fig. 3 The types of container handling in tandem spreader

텐덤 스프레더는 Fig. 3과 같이 싱글, 트윈뿐만 아니라 20'*3, 20'*1+40'*1의 3TEU 동시작업과 20'*4, 40'*1+20'*2, 40'*2 등의 4TEU 동시작업까지 처리가 가능하다. 국내에서 사용되는 싱글 또는 트윈 스프레더에 비해 최대 2배의 생산성 효과를 기대할 수 있다.

본 연구에서는 텐덤 스프레더와 듀얼 트롤리 방식을 채택한 C/C를 대상으로 하며 그 구조는 Fig. 4와 같다.

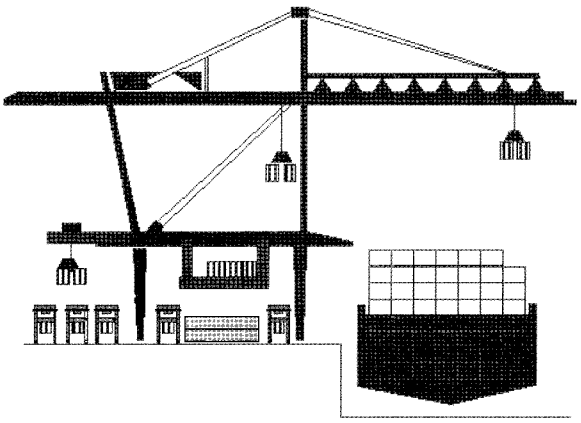


Fig. 4 The structure of container crane with dual trolley and tandem spreader

듀얼 트롤리 C/C에서는 각 트롤리의 사이클 타임이 다르고 트롤리별 컨테이너 도착분포가 달라진다. 또한 탠덤 스프레더에 의해 컨테이너는 배치로 취급된다. 이러한 상황에서 작업의 대기시간을 줄이기 위해서는 완충역할이 필요하며, 버퍼 플랫폼이 이 역할을 담당하게 된다.

3. 버퍼공간 분석

3.1 작업사이클 분석

C/C의 컨테이너 이송작업을 모델링하기 위해 작업사이클을 컨테이너의 이동경로에 따라 분해하였다. 구조적으로 사이클이 다른 2개의 트롤리로 구성되며, 트롤리 사이에 완충공간을 가지는 버퍼플랫폼을 반영하여 작업 사이클을 구성하면 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에서 표현된 버퍼플랫폼은 컨테이너 작업방향에 따라 양쪽 방향으로 이송이 가능하도록 속도와 방향성을 가진 컨베이어로 모델링 하였다. 메인트롤리는 1→2→3→4→5→6→7→8의 과정이 작업 사이클이며, 세컨트 트롤리는 a→b→c→d→e→f→g→h의 과정이 작업 사이클이다. 또한 양하작업시에는 버퍼플랫폼이 F_1 방향으로 컨테이너를 이송하고, 적하작업시에는 버퍼플랫폼이 F_2 방향으로 컨테이너를 이송하게 된다.

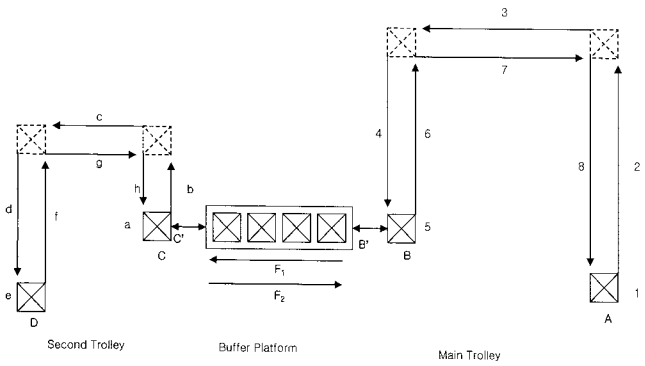


Fig. 5 The work cycle for container handling

컨테이너의 도착분포 중 세컨드 트롤리 작업을 위해 육측에서 도착하는 경우 텐덤 스프레더의 작업을 지원하기 위해 이송차량인 YT(Yard Tractor)가 단일 도착하는 경우(a)와 2대가 동시 도착하는 동시배차(b)를 고려하여 일정한 비율로 2대 동시배차가 가능하도록 하였다.

3.2 버퍼플랫폼 대기행렬구조

버퍼플랫폼은 선박측의 메인 트롤리와 육측의 세컨드 트롤리와의 버퍼공간이므로 양쪽의 컨테이너 도착시간간격 및 수량에 따라 버퍼공간 점유율이 달라지므로 양측의 균형을 달성하기 위한 인터페이스 조건을 만들어야 한다.

버퍼플랫폼의 도착 및 출발에 대해 연계되는 대기행렬 구조는 Fig. 6과 같다.

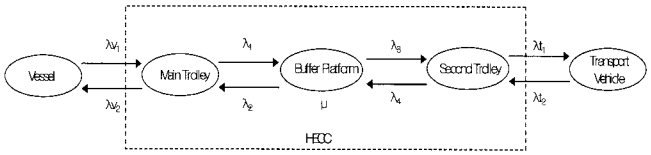


Fig. 6 The structure of queueing in Buffer Flatform

대기행렬구조는 양하작업시 컨테이너의 도착비율(λ_1) 및 출발비율(λ_3)과 적하작업시 컨테이너 출발비율(λ_2) 및 도착비율(λ_4)로 구분된다.

그리고 버퍼플랫폼에서 컨테이너의 도착과 출발을 정의하면, 우선, 버퍼플랫폼으로의 컨테이너 도착은 양하시(λ_1)와 적하시(λ_4)이며, 각각 컨테이너 배치사이즈가 N_1과 N_4인 경우이다.

또한, 버퍼플랫폼에서의 컨테이너 출발은 양하시(λ_3)와 적하시(λ_2)이며, 각각 컨테이너 배치사이즈가 N_3과 N_2인 경우이며, 다음과 같은 관계가 성립된다.

$\lambda_1 \neq \lambda_3$ and $\lambda_2 \neq \lambda_4$

$N_1 \neq N_3$ and $N_2 \neq N_4$

그리고, 버퍼플랫폼의 컨베이어 이송속도는 버퍼플랫폼의 처리속도를 의미한다.

4. 시뮬레이션 실험 및 결과

4.1 시뮬레이션 모델

C/C의 기본 구조에 듀얼 트롤리, 버퍼플랫폼, 텐덤 스프레더 등을 반영하여 버퍼공간의 영향 및 효과를 분석하기 위하여 eM-Plant를 이용하여 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 개발된 시뮬레이션 모델의 주요 클래스 라이브러리는 Fig. 7과 같다. 주요 클래스는 장비인 YT와 CC이며, 객체는 20' 및 40' Container이고, 자원은 Berth이다.

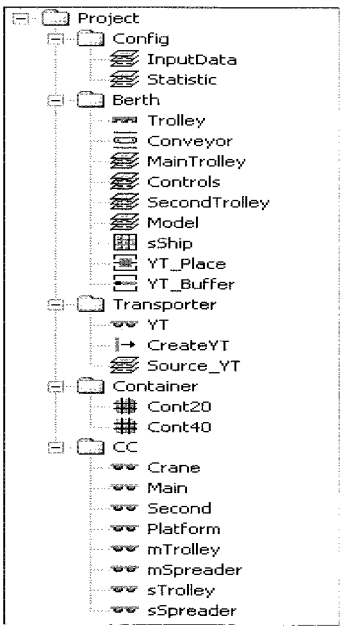


Fig. 7 Class library

Fig. 8의 시뮬레이션 실행 화면에서는 컨테이너터미널의 작업과정 중에서 안벽작업을 대상으로 하며, 양하작업 시에는 메인 트롤리의 선박에서의 작업, 메인 트롤리와 세컨트 트롤리의 버퍼플랫폼에서의 작업, YT와 세컨트 트롤리의 인터페이스 작업을 순서대로 행하며, 적하작업 시에는 YT와의 세컨트 트롤리의 인터페이스 작업, 세컨트 트롤리와 메인 트롤리의 버퍼플랫폼에서의 작업, 메인 트롤리의 선박에서의 작업 등이 순서대로 이루어진다. 시뮬레이션 로직 및 운영분석을 시각적으로 검증하기 위하여 Fig. 8과 같이 2차원 애니메이션으로 구성하였으며, 화면상에서 통계량의 갱신 및 작업의 진행, 버퍼공간에서의 대기 차량 및 대기 컨테이너의 상태를 파악할 수 있도록 하였다.

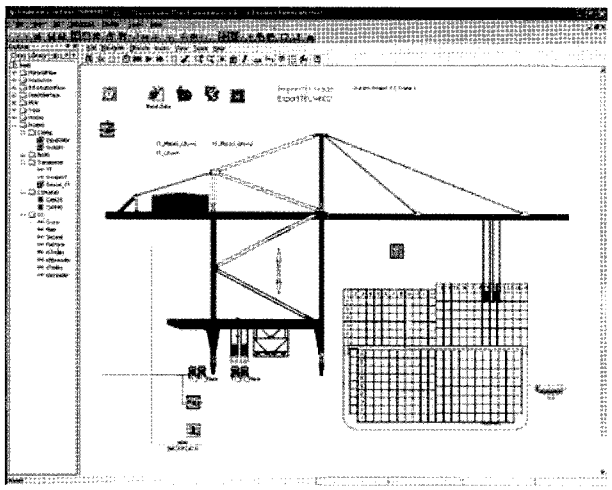


Fig. 8 The developed simulation model

4.2 실험 조건

시뮬레이션 입력값은 기계적 성능 입력값, 컨테이너 작업정보 입력값, 컨테이너 처리 유형별 작업비율로 구성하였다.

Table 1의 기계적 성능 입력값은 메인 트롤리와 세컨드 트롤리의 기계적인 사이클타임을 구성하는 정규속도이며, 버퍼플랫폼의 컨베이어는 이송속도를 고려하였다.

Table 1 The input values for mechanical performance

항 목		입력값(m/s)
메인 트롤리	호이스트속도	1.5(load) 3(empty)
	트롤리속도	5
세컨드 트롤리	호이스트속도	0.583(load) 1.167(empty)
	트롤리속도	2.5
컨베이어	이송속도	0.167

Table 2의 컨테이너 작업정보 입력값은 컨테이너 작업시 컨테이너 크기에 따른 작업비율과 YT 동시배차 비율 및 YT 할당대수를 결정하기 위한 것이다.

Table 2 The input values for container information

항 목	입력값
트윈(싱글)비율	0.5
텐덤비율	0.5
TEU/VAN비율	1.6
YT 동시배차 비율	0.3
C/C당 YT 할당대수	6

동시배차가 적용되어야 하는 작업은 Table 3의 종류 4번, 5번, 6번, 8번이며, YT 도착의 50%가 2대 동시도착이 되도록 배차되어야 하지만 문제에서는 30%가 적용되는 것으로 하였다.

버퍼플랫폼의 버퍼(컨베이어) 개수는 텐덤 작업과 YT 동시배차를 고려할 경우 최소 4개로 하며, 물리적인 공간여유로 인해 최대 6개까지로 하였다. 이 경우 버퍼플랫폼의 버퍼 사이즈에 의한 처리용량은 8TEU에서 12TEU까지의 범위를 가진다.

Table 3 The work ratio of container handling types

종류	컨테이너 처리 유형	스프레더 사용 유형	작업량 (TEU)	작업비율
1	20'×1	싱글	1	0.1
2	20'×2	트윈	2	0.2
3	40'×1	싱글	2	0.2
4	20'×3	텐덤	3	0.1
5	20'×1+40'×1	텐덤	3	0.1
6	20'×4	텐덤	4	0.1
7	20'×2+40'×1	텐덤	4	0.0
8	40'×2	텐덤	4	0.2
계				1.0

C/C의 이론적인 생산성은 59Boxes/hr를 고려하였으며, YT의 도착시간 간격 분포는 C/C의 고생산성을 지원하기 위한 배차상황이라는 전제하에 평균 2분, 표준편차 30초의 정규분포를 가정하였다.

4.3 시뮬레이션에 의한 버퍼플랫폼의 버퍼공간 분석 결과

1) 버퍼사이즈의 검토

버퍼플랫폼을 매개로 메인 트롤리와 세컨드 트롤리로 분리된 2개의 사이클 구간을 이용할 경우 버퍼플랫폼의 사이즈에 따른 영향을 분석하기 위한 실험을 수행하였다. 버퍼사이즈의 구간은 4개에서 6개까지를 고려였다.

통계량 항목은 메인 트롤리의 버퍼 대기회수, 세컨드 트롤리의 버퍼 대기회수, 세컨드 트롤리의 YT 대기회수 등으로 구분하였다.

평가항목은 양하와 적하 작업유형에 대해서 대기회수를 기준으로 구분하여 평가하도록 하였다. 실험의 반복회수는 20회로 하였으며, YT의 도착간격 발생을 위한 배차간격은 2분으로

설정하였다.

버퍼사이즈 크기의 결정을 위해 4개에서 6개까지 버퍼공간을 사용할 경우 양하작업과 적하작업간 균형있는 작업이 수행되는지를 판단하기 위한 시뮬레이션 실험 결과는 Table 4와 같다.

버퍼플랫폼을 사이에 두고 있는 메인 트롤리와 세컨드 트롤리의 버퍼 이용시 버퍼 대기회수와 YT의 도착에 따른 세컨드 트롤리의 대기회수를 분석하면 Table 4와 같다.

Table 4 The simulation results in loading and discharging operation by buffer sizes

통계량 항목	버퍼크기	작업유형	
		양하	적하
메인 트롤리의 버퍼 대기회수	4	94	36
	5	92	32
	6	90	26
세컨드 트롤리의 버퍼 대기회수	4	0	3
	5	0	2
	6	0	2
세컨드 트롤리의 YT 대기회수	4	68	68
	5	73	74
	6	83	88

메인 트롤리의 버퍼 대기회수는 양하작업과 적하작업 모두 버퍼크기가 증가할수록 감소하는 추세였고, 세컨드 트롤리의 버퍼 대기회수는 적하작업에서만 약간 발생하였다. 또한 세컨드 트롤리의 YT 대기회수는 버퍼크기가 증가할수록 증가하는 추세를 보였다.

실험결과를 요약하면, 버퍼플랫폼의 버퍼 4개를 사용하여도 생산성은 높게 유지될 수 있다. YT의 동시배차 대수를 늘려야 하고 이에 따라 YT의 평균대기시간은 증가될 수 있다.

또한 버퍼플랫폼에 대한 대기현상은 메인 트롤리의 대기회수는 높지만 세컨드 트롤리의 YT 대기회수는 낮아짐을 알 수 있다.

따라서, 버퍼플랫폼의 버퍼사이즈가 최소 4 이상이 되면, 생산성에 대한 영향은 없는 것으로 판단할 수 있다.

버퍼플랫폼의 버퍼사이즈 4를 최소값으로 설정한 이유는 텐덤작업을 할 경우 2열 작업이 되므로 버퍼의 역할을 하는 최소 열수가 4이기 때문이다. 또한 버퍼플랫폼을 트윈작업을 위한 버퍼로 사용할 경우 버퍼사이즈 2도 버퍼의 역할을 할 수 있다.

그러나 버퍼플랫폼의 버퍼사이즈를 2로 설정할 경우 (즉, 트윈작업이 아닌 경우) 실제 작업에서는 많은 대기시간이 발생하여 생산성 향상에는 효과적이지 않다.

2) 버퍼사이즈 영향 분석

버퍼사이즈의 검토 결과로 얻어지는 C/C의 성능에 대한 실험 결과는 Table 5와 같다.

버퍼사이즈가 커질수록 메인 트롤리의 생산성과 세컨드 트롤리의 생산성이 약간 낮아지며, YT 단일배차 대수는 증가하고 동시배차 대수는 감소하는 추세를 보인다. YT 평균대기시간도 감소하는 추세를 보인다.

버퍼사이즈의 증가로 인한 효과가 크다고 판단할 수준은 아니며, 오히려 투자비 증가 및 공간적 제약 증가를 고려하면 생산성 향상에 기여하는 정도가 낮은 것으로 판단된다.

따라서 Table 5에서와 같이 시뮬레이션 실험의 결과값을 검토할 경우 버퍼사이즈 증가에 따른 생산성 향상효과가 유의하다고 판단할 수 없다.

Table 5 The simulation results by the change of buffer size

통계량 항목	버퍼사이즈		
	4	5	6
메인 트롤리 생산성(Boxes/h)	53.0	52.1	51.5
세컨드 트롤리 생산성(Boxes/h)	53.5	52.6	51.7
YT 시간당 단일배차 대수	20.1	20.5	20.6
YT 시간당 동시배차 대수	10.5	9.9	9.7
YT 평균대기시간(초)	72.2	69.0	60.0

3) 배차간격 변화 분석

양하작업에 대한 배차간격 분석을 위한 시뮬레이션 결과는 Table 6과 같다. 20회 반복실험을 수행한 결과값이며, 실험변수는 YT 도착시간 간격이다. 텐덤작업비율은 평균적으로 0.53 정도가 유지되었다.

Table 6 The results of simulation for discharging operation

실험변수	60초	80초	100초	120초	140초
양하컨테이너 처리물량(TEU)	602.47	581.63	581.63	581.63	581.63
양하컨테이너 처리물량(Qty)	443.18	426.16	430.42	431.74	429.79
컨테이너 사이즈 비율(TEU/VAN)	1.36	1.37	1.35	1.35	1.35
일반작업수(Qty)	66.47	62.00	59.68	60.11	58.63
트윈작업수(Qty)	40.24	39.00	40.47	42.42	42.21
탠덤작업수(Qty)	115.12	112.32	112.79	111.68	111.47
트윈작업비율	0.17	0.18	0.19	0.19	0.20
탠덤작업비율	0.52	0.54	0.53	0.52	0.53
메인 트롤리의 대기회수	107.24	126.58	140.84	154.79	155.53
메인 트롤리의 버퍼 총대기시간	5,439.76	6,249.01	10,271.81	15,037.11	17,997.30
메인 트롤리의 버퍼 평균대기시간	50.90	49.19	72.91	97.07	117.17
세컨드 트롤리의 버퍼 대기회수	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
세컨드 트롤리의 버퍼 총대기시간	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
세컨드 트롤리의 버퍼 평균대기시간	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
세컨드 트롤리의 YT 대기회수	0.00	12.42	81.95	129.89	136.84
세컨드 트롤리의 YT 총대기시간	0.00	562.67	5,897.50	11,066.11	14,299.72
세컨드 트롤리의 YT 평균대기시간	0.00	45.34	71.53	85.38	105.86
평균버퍼재고량(TEU)	8.14	8.39	8.77	9.01	9.16
버퍼점유율(%)	67.82	69.91	73.09	75.06	76.33

양하작업시 YT 도착시간 간격이 커질수록 메인 트롤리 대기회수와 메인 트롤리 버퍼총대기시간은 증가하였고 메인 트

롤리의 버퍼평균대기시간은 증가하는 추세를 보였다. 세컨드 트롤리에서 대기는 발생하지 않았고 세컨드 트롤리의 YT대기회수는 증가하는 추세를 보였다. 평균버퍼재고량은 약간 증가하였으나 전체적으로 1TEU 정도의 차이를 보여 유의한 수준은 아닌 것으로 판단되었다. 버퍼플랫폼에 대한 버퍼점유율은 약간씩 증가하는 추세이며, 67.82%에서 76.33% 사이의 값을 보였다.

적하작업에 대한 배차간격 분석을 위한 시뮬레이션 결과는 Table 7과 같다. 20회 반복실험을 수행한 결과 값이며, 실험변수는 YT 도착시간 간격이다. 탠덤작업비율은 배차간격이 증가할수록 현저히 낮아지는 결과가 발생하였다.

적하작업시 YT 도착시간 간격이 커질수록 메인 트롤리 대기회수와 메인 트롤리 버퍼총대기시간은 증가하였고 메인 트롤리의 버퍼평균대기시간은 증가하는 추세를 보였다. 또한 세컨드트롤리는 대기회수가 100초 이후에는 약 1회 정도만 발생하였고 세컨드 트롤리의 YT 대기회수는 갈수록 증가하는 추세를 보였다. 버퍼에서 재고량을 나타내는 평균버퍼재고량은 거의 발생하지 않았고, 전체적으로 1TEU 이하이므로 버퍼점유에 의한 차이는 유의한 수준이 아닌 것으로 판단되었다.

Table 7 The results of simulation for loading operation

실험변수	60초	80초	100초	120초	140초
적하컨테이너 처리물량(TEU)	749.12	720.16	720.11	720.05	714.30
적하컨테이너 처리물량(Qty)	572.06	548.95	548.32	548.58	543.55
컨테이너 사이즈 비율(TEU/VAN)	1.31	1.31	1.31	1.31	1.32
일반작업수(Qty)	33.35	132.89	191.53	205.89	211.20
트윈작업수(Qty)	5.38	50.21	73.95	78.84	80.95
탠덤작업수(Qty)	189.06	108.95	68.79	59.00	54.55
트윈작업비율	0.02	0.17	0.22	0.23	0.23
탠덤작업비율	0.84	0.37	0.21	0.17	0.16
메인 트롤리의 대기회수	7.00	13.53	33.26	69.68	98.30
메인 트롤리의 버퍼 총대기시간	541.34	1,226.76	3,404.26	7,694.61	11,380.61
메인 트롤리의 버퍼 평균대기시간	65.43	88.91	101.88	110.61	115.25
세컨드 트롤리의 버퍼 대기회수	24.94	4.74	1.50	1.20	1.21
세컨드 트롤리의 버퍼 총대기시간	130.76	23.48	7.05	6.09	6.31
세컨드 트롤리의 버퍼 평균대기시간	5.22	5.00	4.86	5.15	5.22
세컨드 트롤리의 YT 대기회수	2.82	42.68	147.00	260.26	262.40
세컨드 트롤리의 YT 총대기시간	1,270.37	1,203.07	3,632.65	8,596.00	12,800.36
세컨드 트롤리의 YT 평균대기시간	503.65	29.86	25.05	33.21	48.83
평균버퍼재고량(TEU)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
버퍼점유율(%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

배차간격을 60초(1분), 80초(1분20초), 100초(1분40초), 120초(2분), 140초(2분20초) 등의 5개 대안을 대상으로 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 배차간격은 평균적인 YT 도착간 시간간격을 의미하며, 반복회수를 20회로 하여 실험한 결과의 평균값을 정리하면 Table 8과 같다.

배차간격이 커질수록 메인 트롤리의 생산성과 세컨드 트롤리의 생산성이 약간 낮아지고, YT 단일배차 대수는 증가하고 동시배차 대수는 감소하는 추세를 보인다. YT 평균대기시간도 감소하는 추세를 보인다. 배차간격의 증가로 인한 생산성 효과가 크다고 판단되는 YT 도착시간 간격은 100초와 120초 사이이다. 가장 적합한 수준의 생산성 수준을 예측하기는 어려우나 100초와 120초 사이에서 YT 배차대수를 확보하도록 배차계획을 수립해야 하며, 이때 기대되는 YT 평균대기시간은 1분 내외가 될 것이다.

Table 8 The results of simulation by change of YT interarrival time

통계량 항목	YT 도착시간 간격(초)				
	60	80	100	120	140
메인 트롤리 생산성(Boxes/h)	91.63	74.96	61.41	51.24	45.81
세컨드 트롤리 생산성(Boxes/h)	92.34	75.47	61.75	51.47	46.00
YT 단일배차 대수	266.94	386.68	405.79	407.42	405.32
YT 동시배차 대수	401.59	208.21	173.95	171.84	171.89
YT 평균대기시간(초)	177.17	115.60	65.06	56.27	56.16

따라서 실험 결과 값에서 보는 바와 같이 생산성 확보에 적합한 YT 도착시간 간격은 100초에서 120초 사이에서 결정되며, 이때 YT 평균대기시간은 1분 내외로 기대할 수 있다. 이러한 판단은 아래의 Fig. 9에서 잘 나타나고 있다.

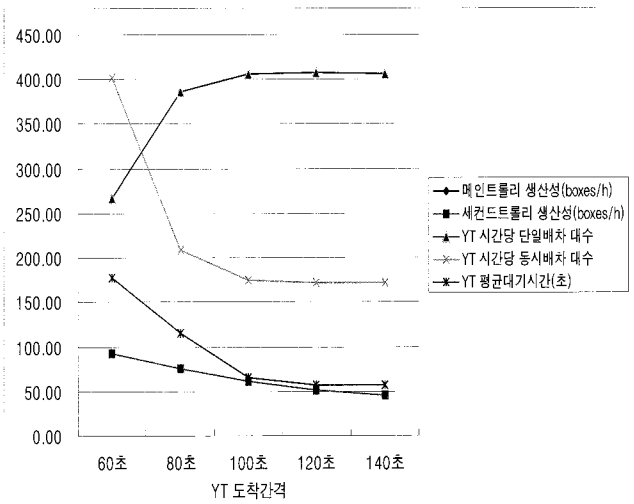


Fig. 9 The results of YT dispatching

5. 결 론

컨테이너 물동량의 지속적인 증가로 인해 컨테이너선의 대형화와 컨테이너터미널의 고속화가 진행되면서 컨테이너터미널에서는 선사와 화주의 서비스 요구수준을 만족시킬 수 있는 고생산성의 안벽크레인이 필요하게 되었다. 이러한 기술적 요구에 맞도록 국내에서 개발이 진행 중이면서 고성능 C/C의 기술대안으로 제안되고 있는 듀얼 트롤리형과 버퍼 공간에 대한 성능을 시뮬레이션 방법을 이용하여 분석하였다.

듀얼 트롤리형은 버퍼플랫폼의 양측에서 작업이 이루어지는 메인 트롤리와 세컨드 트롤리의 2개 사이클에 적합한 버퍼 사

이즈를 분석하여 효율적으로 운영할 필요가 있다. 본 연구에서 시뮬레이션 실험결과 버퍼플랫폼의 버퍼사이즈가 최소 4 이상이 되면, 생산성에 대한 영향은 없는 것으로 분석되었다. 또한 버퍼사이즈의 영향을 분석한 결과 버퍼사이즈 증가에 따른 생산성 향상효과가 유의하다고 판단할 수 없었다.

그리고 분리된 사이클 간의 생산성 균등화를 지원하기 위한 YT의 배차전략을 검토한 결과, 배차간격이 커질수록 메인 트롤리의 생산성과 세컨드 트롤리의 생산성이 약간 낮아지고 YT 단일배차 대수는 증가하고 동시배차 대수는 감소하는 추세를 보였다. 또한 시뮬레이션 실험의 결과로 생산성 확보에 적합한 YT의 도착시간 간격은 100초에서 120초 사이에서 결정된다는 것을 알 수 있었다.

그러나 본 연구에서의 모델링과 시뮬레이션 분석은 C/C를 중심으로 하였으므로 외부 요인이 되는 선박의 입출항 및 YT의 운행에 대해서는 상세한 모델링이 반영이 되지 않았으므로 컨테이너터미널 전체적인 운영을 반영하지 못한 한계점을 가지고 있다. 향후 연구에서는 컨테이너터미널의 전반적인 운영환경을 반영하면서 효과적으로 버퍼공간을 활용하기 위한 방안에 대한 연구가 필요하며, YT 배차에 대한 현실적인 반영이 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

[1] 원승환, 최상희(2008), "컨테이너크레인 개발자를 위한 대안 선정 절차", 한국항해항만학회지, 제32권, 제8호, pp.621-628.

[2] 원승환, 최상희(2007), "멀티 리프트가 가능한 컨테이너 크레인의 생산성 분석", 한국항해항만학회 2007 춘계학술대회논문집.

[3] 정현수, 이숙재, 홍금식(2005), "차세대 컨테이너크레인에 대한 고찰", 한국항해항만학회지, 제29권, 제3호, pp.291-298.

[4] 최상희, 원승환(2006), "Tandem twin-lift 방식의 고효율 컨테이너크레인의 등장", 해양수산동향, Vol.1223, 한국해양수산개발원.

[5] 최용석, 양창호, 최상희, 원승환(2007), "고효율 컨테이너 크레인의 개념 모델 및 적용효과 분석", 해양정책연구, 제22권, 제2호, pp.123-158.

[6] 하태영, 최용석(2005), "고성능 안벽크레인의 터미널 하역생산성 비교분석", 한국항해항만학회지, 제29권, 제6호, pp.547-553.

원고접수일 : 2009년 4월 24일
심사완료일 : 2009년 6월 29일
원고채택일 : 2009년 6월 29일