

컨테이너 터미널의 차세대 하역시스템 성능평가

† 하태영* · 신재영**

* 한국해양수산개발원 항만연구본부 책임연구원, ** 한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

Performance Evaluation of the Next Generation Stevedoring System at Container Terminal

† Tae-Young Ha* · Jae-Yeong Shin**

*Shipping, Logistics and Port Research Center, Korea Maritime Institute, Seoul 137-851, Korea

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

요 약 : 본 연구는 컨테이너 터미널의 하역시스템을 새롭게 구성하고 그 성능을 평가하는데 목적을 두고 있다. 기존 터미널에서 사용되고 있는 하역장비는 기능이나 설계구조 측면에서 유연성이 부족하며, 이를 기반으로 한 하역시스템 구성은 상당부분 이전에 설계된 형태이기 때문에 성능과 기능면에서 터미널의 생산성을 향상시키는데 한계가 있다고 할 수 있다. 일반적으로, 컨테이너 터미널의 하역시스템은 크게 안벽시스템, 이송시스템, 야드시스템, 게이트시스템의 4가지 하위시스템으로 구분될 수 있으며, 이들 각 하위시스템은 적합한 시설과 장비를 사용하여 터미널의 하역서비스를 수행하고 있다. 이에, 본 연구에서는 기존보다 우수한 성능 및 기능을 갖춘 여러 장비를 토대로 다양한 시설배치에 적용한 차세대 하역시스템 설계안을 제시하고, 그 성능을 평가해 보았다.

핵심용어 : 컨테이너 터미널, 차세대 하역시스템, 생산성, 하역장비

Abstract : This study aims at newly constructing and evaluating performance of the stevedoring equipment systems in terminals. The stevedoring equipments used in conventional terminals are insufficient in flexibility in their functions or design structure, and most of the stevedoring systems based on such equipments have conventional design, therefore, limited in improving the productivity of terminals both in performance and functionality. The stevedoring equipment systems in terminals, in general, can be subdivided into 4 subsystems of quay, transportation, yard, and gate system, which carry out loading and unloading works with proper facilities and equipments. In this study, a design of next generation stevedoring equipment system comprised of various stevedoring equipments which have superior performance and functionalities to the conventional equipments was proposed, and its performance was evaluated.

Key words : Container terminal, Next generation stevedoring system, Productivity, Stevedoring equipment

1. 서 론

컨테이너 터미널의 하역시스템은 컨테이너를 취급하는 각종 하역장비들로 구성된 유기적인 처리시스템이다. 터미널의 하역생산성을 향상시키기 위해서는 이들 하역장비의 자체 성능이 우수해야 하며 또한, 하역장비들 간의 유기적인 연계성이 원활히 이루어져야만 전체 생산성이 향상되어질 수 있다.

하역시스템을 구성하는 장비는 선박과 안벽간에 컨테이너를 양하·적하하는 안벽장비, 터미널 내부에서 컨테이너를 운반하는 이송장비, 터미널 내부에서 컨테이너를 보관·장치하는 야드장비로 크게 구분되는데 최근에 와서 이들 하역장비들은 그 기능과 구조면에서 기존보다 더욱 개선된 유형들이 개발되고 있다. 안벽장비부문에 있어서는 기존의 싱글트롤리형(Single Trolley Type)의 크레인을 더욱 개선한 듀얼트롤리형(Dual Trolley Type), 더블트롤리형(Double Trolley Type),

슈퍼테이너형(Supertainer Type) 크레인이 개발되고 있으며, 이송장비부문에서는 기존의 야드트럭(Yard Truck, YT)과 무인차량(Automated Guided Vehicle, AGV)을 대체할 새로운 차세대 장비로 셔틀캐리어(Shuttle Carrier, SHC)와 자가하역차량(Automated Lifting Vehicle, ALV) 등의 다기능 차량이 개발되고 있다. 마지막으로 야드장비부문에 있어서는 RTGC(Rubber Tired Gantry Crane)의 성능을 개선한 RMGC(Rail Mounted Gantry Crane)가 점차 기존의 시스템을 대체하는 차세대 기술로 부각되고 있다. 이들 차세대 하역장비들은 현재 사용되고 있는 기존의 장비보다 개별적인 성능면에서 우수하다고 할 수 있다. 그러나, 이들 각 장비들을 상호 복합한 하역시스템을 터미널에 도입한 사례는 매우 적으며, 그 성능평가에서도 연구가 미흡한 실정이라 할 수 있다.

하역시스템의 성능에 관련한 기존 연구는 크게 안벽시스템을 대상으로 C/C의 하역생산성을 측정할 연구([1],[2],[4],[5]),

† 교신저자 : 하태영(정회원), haty@kmi.re.kr, 02)2105-2887

** 정회원, shinjy@hhu.ac.kr, 051)410-4335

이송 및 야드시스템에 대해 배치형태나 작업할당 등에 관한 연구(Liu, 2004; Saanen and Valkengoed, 2005)들이 다수 수행되었다. 그러나, 이들 연구는 영역별로 개별적인 하역생산성을 산출한 연구에 해당한다. 따라서, 신개념의 하역장비를 대상으로 터미널 하역시스템의 성능을 평가한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 이들 고성능의 차세대 하역장비에 기반한 하역시스템 구성안을 제시하고, 그 성능을 평가하였다. 하역성능 평가에는 시뮬레이션 기법이 사용되었으며, 평가결과를 토대로 터미널의 차세대 하역시스템의 개발방안을 수립해보았다.

2. 터미널 하역시스템 특성

터미널 하역시스템은 시설배치 및 작업영역에 따라 크게 4가지 하위시스템인 안벽시스템, 이송시스템, 야드시스템, 게이트시스템으로 구분된다. 이들 하위시스템들은 컨테이너를 취급하기 위한 적합한 하역장비와 운영방식에 따라 터미널 하역작업을 수행한다.

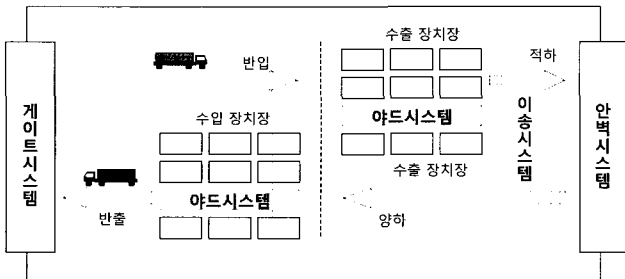


Fig. 1 Stevedoring system of conventional container terminal

2.1 안벽시스템 특성

안벽시스템은 선박에 적재된 컨테이너를 내리거나 실는 터미널 하위시스템 영역이다. 안벽에서 사용되는 하역장비는 컨

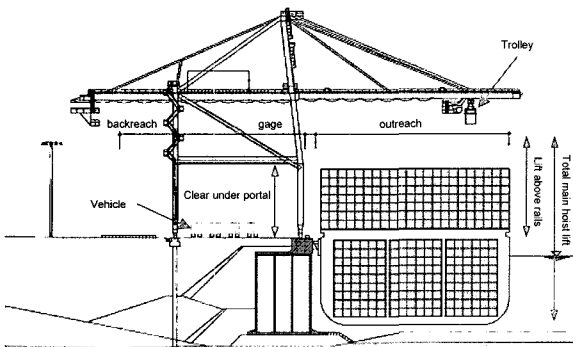


Fig. 2 Quay Equipment of container terminal(Single trolley type container crane)

테이너 크레인(Container Crane, C/C)으로 C/C는 선박으로부터 컨테이너를 내리는 양하작업과 신는 적하작업을 담당하는 터미널의 주요하역장비라 할 수 있다¹⁾. 보통, 1개의 선박에 몇 대의 C/C가 배정되며, 시간당 작업개수(개/시간)를 터미널의 하역생산성 지표로 삼고 있다. 따라서, 안벽하역작업은 터미널의 하역생산성을 결정짓는 중요한 요소에 해당한다고 할 수 있다. 일반적으로 대부분의 터미널에서는 1개의 트롤리가 부착된 싱글트롤리형 C/C를 사용하고 있으며, 이 유형의 C/C는 보통 시간당 50회 정도의 기계적 작업 성능을 가지고 있다.

2.2 이송시스템 특성

이송시스템은 안벽과 야드간의 컨테이너를 운반하는 터미널 하위시스템 영역으로 기존 터미널의 대부분은 이송작업에 주로 YT를 사용하며, 일부 자동화 터미널에서는 AGV를 주력 장비로 사용하고 있다²⁾.

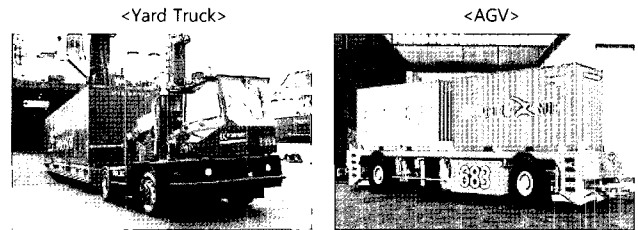


Fig. 3 Transport Equipment of container terminal

기존의 이송시스템인 YT와 AGV는 20피트 컨테이너 2개 또는 40피트 컨테이너 1개 정도 적재할 수 있는 용량을 가지는 단순 운반차량이다. 따라서, 안벽과 야드간의 이송작업시 타 장비에 의해서 컨테이너를 넘겨주거나 받아야 하는 수동적인 작업형태를 취할 수 밖에 없어 작업 효율이 낮은 편이라 할 수 있다. 또한, 안벽 및 장치장 하역장비의 작업을 원활히 지원하기 위해서는 많은 차량을 작업에 투입해야 함으로 차량 통행의 혼잡, 각종 비용(인건비, 운영비, 구입비 등)의 부담이 크다는 단점을 가진다.

2.3 야드시스템 특성

야드시스템은 컨테이너를 터미널내의 장치공간에 일정기간 보관하는 역할을 담당하며 하역장비로는 RTGC를 대부분 사용하고 있다. 터미널의 여건에 따라 일부 터미널에서는 기동성이 좋은 S/C (Straddle Carrier)를 사용하거나, 장치효율과 자동화 운영에 유리한 RMGC, OHBC(Over Head Bridge Crane)를 사용하는 경우도 있다.

1) 터미널의 안벽장비는 C/C(Container Crane), Q/C(Quay Crane), G/C(Gantry Crane)의 다양한 명칭으로 사용되고 있음. 최초의 컨테이너 크레인은 1958년 Maston에 설치된 것으로 Paccos사에서 개발하였는데, 당시 크레인의 하역능력은 24피트 컨테이너를 시간당 1~2~15개 처리할 수 있는 능력에 불과한 수준이었음.
2) 현재 무인이송장인 AGV(Automated Guided Vehicle)는 네덜란드 ECT(1991)와 독일 CTA(2002) 터미널에 운영되고 있음

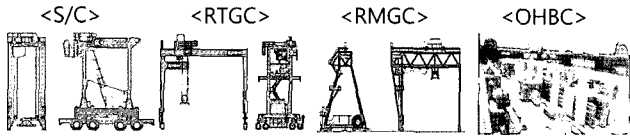


Fig. 4 Yard Equipment of container terminal

유형별로 야드장비의 특성을 살펴보면, S/C는 기동성에 있어 타 장비에 비해 매우 우수한 편이다. 그러나, 단위면적당 적재용량이 낮다는 단점을 가지고 있기 때문에 장치공간이 협소한 터미널에는 선호도가 낮은 편이라 할 수 있다. 반면, 이러한 단점을 보완하고 장치용량을 높인 장비가 RTGC이다. RTGC는 S/C에 비해 기동성은 떨어지지만 동일면적에 많은 양의 컨테이너를 장치할 수 있다는 점에서 현재, 가장 많은 터미널에 도입된 유형이다. 이 장비는 국내 뿐아니라 해외에서도 가장 보편화된 야드시스템의 하역장비라 할 수 있다.

Table 1 Comparison of yard equipments by means of storage capacity

구분	S/C	RTGC	RMGC	OHBC
열수	1row	6rows	9rows	10rows
단적수	1 over 3	1 over 4~5	1 over 5~6	1 over 6~7

한편, RTGC를 좀더 개선한 RMGC 장비를 들 수 있는데, 이 RMGC는 고정된 레일(rail)위를 주행하는 안정된 시스템으로 최근 도입이 늘고 있는 추세에 있다. RTGC에 비해 동일한 바닥면적에 컨테이너 장치량을 더 높일 수 있을 뿐아니라 기동성에 있어서도 우수하다. 특히, 야드 자동화에도 유리하여 신규터미널 건설시에 많이 도입되고 있다. RMGC와 유사한 형태의 야드장비인 OHBC는 장치장의 바닥에 레일 구조가 아닌 고정된 구조물을 세우고 상단에 설치된 브릿지 크레인을 이용하여 하역작업을 하는 유형이다. RMGC에 비해 주행능력이 우수하지만 구조물 설치비용이 추가로 들기 때문에 도입시 비용부담이 크다는 단점을 가지고 있다.

2.4 게이트시스템

터미널의 게이트는 외부차량의 입출구로 수출 및 수입컨테이너의 반입, 반출작업을 처리하는 시설이다. 보통, 컨테이너 및 차량의 정보입수를 위해 입구에서의 통과시간이 출구보다 더 많이 소요되기 때문에 차량의 원활한 터미널 내부진입을 위해 입구의 레인수를 출구보다 많이 설계한다.

Table 2 Average service time of external road truck at gate

구분	시간	비 고
입구	110초	차량번호, 컨테이너, Seal 번호, 외장파손 유무 등
출구	20초	차량번호, 컨테이너 확인 등

주: 부산항 컨테이너 터미널 실적자료(2004) 기준으로 평균값 산출

한편, 외부트럭은 매일 일정한 시간대별 분포를 가지고 터미널에 도착하는데, 터미널의 연간 처리능력에 따라 차량의 대수도 달라지는 것이 특징이라 할 수 있다. 특히, 외부트럭의 도착분포는 대부분의 터미널이 유사한 형태를 보이는데, 이는 트럭의 도착정보가 터미널의 외부환경요소에 해당되기 때문이라 할 수 있다.

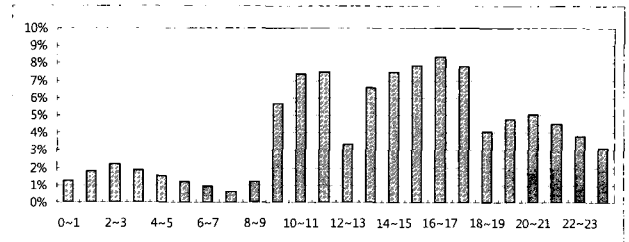


Fig. 5 Arrival pattern of external road truck at terminal (Hutchison Busan Container Terminal, 2005)

3. 차세대 하역시스템 기술

본 연구에서 제시하는 차세대 기술은 하역시스템에 적용되는 컨테이너 하역장비기술로 기존보다 성능 및 기능측면에서 우수한 장비유형을 말하며, 야드시스템의 경우는 하역장비에 야드시설의 배치형태를 차세대 기술에 포함하였다.

3.1 차세대 안벽기술

안벽시스템에 적용될 차세대 기술로는 크게 Dual, Double, Supertainer의 3가지 유형을 들 수 있다. 이들은 기존의 Single형에 적용되었던 선박과 안벽간의 단순선형작업방식을 개선한 것으로 기존보다 작업의 유연성이 높아 C/C의 생산성 향상에 도움이 되는 장비라 할 수 있다.

Table 3 Three alternative equipments of container crane

장비유형	주요특징
기존	Single: 1개 트롤리에 의한 선형 작업형태
차세대	Dual: 2개 트롤리에 의한 2분화된 작업형태
	Double: 2개 트롤리의 독립적인 작업형태
	Super: 2개 트롤리&트레버서에 의한 3분화된 작업형태

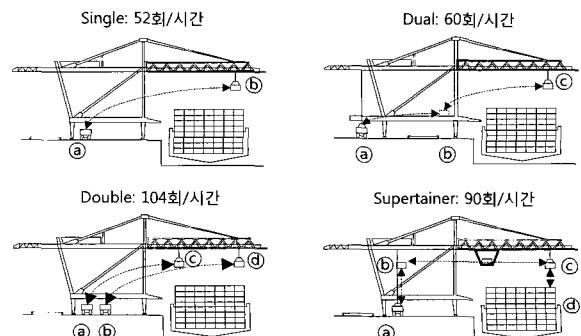


Fig. 6 Performance and functionalities of 4 types C/C

Dual형의 경우는 현재 일부 터미널에서 적용되고 있는 기술로 2개의 트롤리에 의해 시간당 60회 정도의 기계적 작업 성능을 가진다. Double과 Supertainer형은 현재 관련핵심기술이 연구되고 있는 단계이지만, 기술검증이 이루어지면 향후 터미널에 도입 가능성이 높다고 할 수 있다. 이들 장비 역시 트롤리의 성능을 감안하면 시간당 90회 수준의 성능을 가질 수 있어 기존대비 1.7~2.0배의 생산성 효과를 거둘 수 있는 차세대 기술이라 할 수 있다.

3.2 차세대 이송기술

이송장비의 차세대 기술로 자체하역기능을 보유한 SHC와 ALV를 들 수 있다. SHC는 Kalmar사에서 개발한 제품으로 현재 일부 터미널에 시범 적용중이며, ALV는 기술개발이 진행되고 있는 차세대 이송장비라 할 수 있다³⁾.

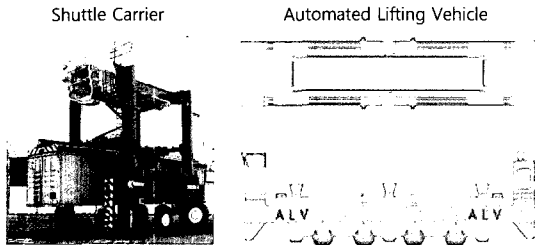


Fig. 6 Specifications of SHC and ALV

기존의 YT나 AGV가 안벽과 야드지점에서 타 장비의 지원을 받아 이송작업을 수행하는 수동적인 작업형태로만 운영이 가능하였으나, 이들 장비는 자체하역기능을 구비하고 있기 때문에 안벽과 야드지점에서 타 장비의 지원없이 버퍼(buffer)작업을 수행할 수 있다. 따라서, 장비간의 대기시간을 상당부분 해소할 수 있기 때문에 이송능력에서도 기존 YT나 AGV에 비해 우수한 성능을 보일 것으로 예상된다. 특히, ALV는 타 장비로부터 직접 컨테이너를 받아 이를 버퍼공간에 장치할 수 있는 설계 구조이므로 상대적으로 SHC보다 유연성이 높은 장비유형이라 할 수 있다.

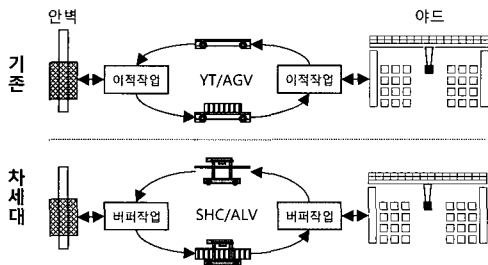


Fig. 7 Comparison of transport system(YT/AGV vs SHC/ALV)

주행속도에 있어서는 장비간에 다소 성능차이가 있는 것으로 보이지만 터미널 내에서는 고속주행이 힘들고, 통행안전을

위해 주행속도를 일정범위 이내(20km/hr)로 제한함으로 상호 간에 큰 의미는 없다고 할 수 있다.

Table 4 Performance and functionalities of transport vehicle

		YT	AGV	SHC	ALV
하역 기능	받기	가능	가능	불가	가능
	집기+놓기	불가	불가	가능	가능
	내리기	불가	불가	불가	가능
최대적재용량		2TEU	2TEU	2TEU	2TEU
주행속도		20km/hr	390m/min	500m/min	500m/min

3.3 차세대 야드기술

본 연구에서 제시하는 야드시스템의 차세대 기술은 크게 2가지로 구분될 수 있다.

첫 번째로, 장비측면에서 기계적 성능과 장치공간의 활용 및 비용 측면에서 RTGC에 비해 장점을 가지는 RMGC를 차세대 야드 장비유형으로 제안한다. 장비의 작업성능에 있어 RMGC는 시간당 25~28개의 생산성을 가지므로 기존의 15개 수준에 비해 높고, 장치면적의 활용면에서도 5단 9열 설계가 무난히 적용될 수 있으므로 4단 6열의 RTGC 시스템보다 우수한 대안으로 평가될 수 있다.

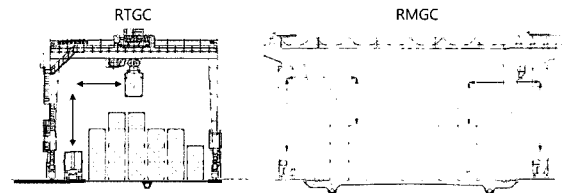


Fig. 8 Comparison of RTGC and RMGC

Table 5 RTGC vs RMGC specification and performance

구분	RTGC	RMGC	성능비교	
적재규모	4단 6열	5단 9열 이상	-	
인양고도	15.2m	17.7m	-	
레일스팬간격	23.5m	28.39m	-	
속도	권상	34m/min	90m/min	165% ↑
	횡행	70m/min	150m/min	114% ↑
	주행	90m/min	130m/min	44 ↑
야드하역생산성	15개 미만	25~28개	67~87% ↑	

또 하나는 블록의 배치방향으로 이에 는 수평 및 수직의 2가지 배치방법이 야드시스템에 적용될 수 있다. 장치블록의 배치방향은 이송장비와 야드장비의 주행동선을 결정하며 야드의 하역생산성에 많은 영향을 주는 인자라 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서도 이 2가지 야드 배치안을 모두 하역시스템의 성능평가 대안으로 설정하였다.

3) SHC는 Kalmar사에서 설계 및 제작된 장비로 기존의 스트래들캐리어(Straddle Carrier)보다 기동성이 뛰어나며, 1 over 1의 적재기능을 가지고 있으며, 본 연구에서 제시하는 ALV는 현재 제품제작 이전단계인 상세설계가 마무리된 상태임.

Table 6 Comparison of horizontal and vertical yard layout

구분		수평배치	수직배치형
동선 거리	차량	증가	감소
	야드장비	감소	증가
작업 효율	차량	낮음	높음
	야드장비	높음	낮음
차량흐름		주행속도 증가	주행속도 저하

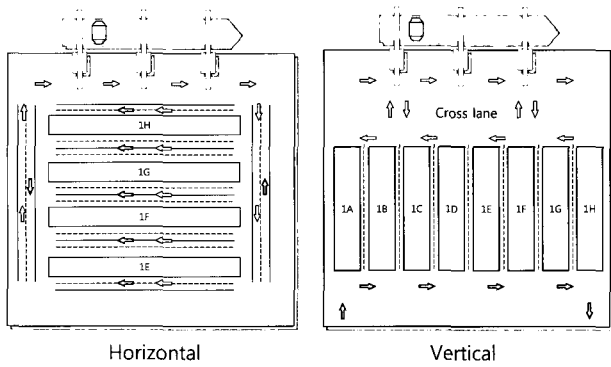


Fig. 9 Design alternatives of yard layout at container terminal

4. 하역시스템 성능평가

4.1 시뮬레이션 모델

1) 모델 개념도

하역시스템의 성능을 평가하기 위해 본 연구에서는 시뮬레이션 방법을 사용하였으며, 모델의 기본 개념도는 Fig. 10과 같다.

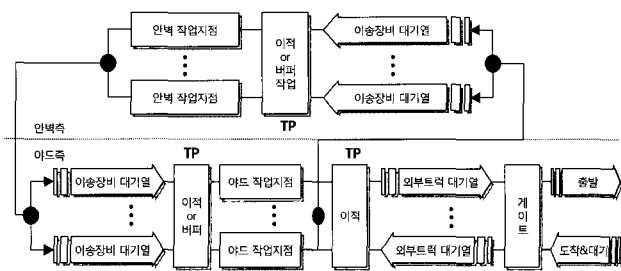


Fig. 10 Concept design for simulation model

안벽과 야드에서 각 장비들은 TP(Transfer Point)지점을 통하여 컨테이너를 주고 받는 연계구조로 되어 있으며, 각 TP에는 이송장비와 외부트럭의 대기열이 존재하는 구성형태로 이루어져 있다. YT나 AGV의 경우에는 TP지점에서 안벽이나 야드장비의 지원을 받아야만 하기 때문에 TP지점을 장비간의 컨테이너 직접교환지점으로 사용되지 않지만, SHC나 ALV의 경우에는 자체하역기능을 구비하고 있기 때문에 TP지점을 장비 상호간의 버퍼지점으로 사용된다. 따라서, 장비 상호간 대기현상이 걸림되는 효과를 반영할 수 있다. 외부트럭의 경우에는 YT나 AGV와 동일하게 TP를 교환지점으로 사용한다.

2) 상태전이모델

장비의 컨테이너 하역과정을 묘사하기 위한 방법으로 상태전이 모델을 사용하였다. 상태전이모델은 장비의 하역작업동작을 특성에 따라 여러 개의 세부상태로 나누는 방식으로, 현재의 상태가 주어진 조건을 만족하면 다음 상태로 전이하는 구성을 가지고 있다. Table 7은 안벽장비에 대한 상태전이모델의 예이다.

Table 7 State definition of container crane

상태	작업상태	Single	Dual	Double	Super
s1	차량 or 버퍼작업중	○	○	○	○
s2	육측에서 트롤리 상승중	○	○	○	○
s3	육측에서 교환 작업중	-	-	-	○
s4	이적작업을 위한 육측지점 대기중	-	-	-	○
s5	해측→육측 이동중	○	○	○	○
s6	해측에서 교환 작업중	-	-	-	○
s7	이적작업을 위한 해측 대기중	-	-	-	○
s8	해측에서 트롤리 하강중	○	○	○	○
s9	선박 or 버퍼에서 작업중	○	○	○	○
s10	해측에서 트롤리 상승중	○	○	○	○
s11	해측→육측 이동중	○	○	○	○
s12	육측에서 트롤리 하강중	○	○	○	○
s13	차량대기중	○	○	○	○
s14	육측에서 트롤리간 간섭으로 대기중	-	-	○	-
s15	해측에서 트롤리간 간섭으로 대기중	-	-	○	-
s16	버퍼작업을 위해 대기중		○	-	-
작업상태개수		9개	10개	11개	13개

4가지 유형의 안벽장비에 대해 하역작업시 트롤리나 트래버서의 동작과정을 특성에 따라 싱글형은 9개, 듀얼형은 10개, 더블형은 11개, 슈퍼형은 13개의 세부동작으로 구분하여 작업상태를 정의할 수 있다. 시뮬레이션 수행시에는 이러한 작업상태가 반복적으로 일어나며 특정 조건을 만족하면 현재의 상태에서 다음상태로 전이가 발생한다. 예를 들면, 싱글형의 경우 양하 작업시 트롤리가 이송차량에게 컨테이너를 양하하는 상태 s1에서 작업이 완료되면 다음 상태인 s2로 전이하게 되는 구조이다. 마찬가지로 이송장비, 야드장비, 외부트럭, 게이트에 대해서도 상위의 방식으로 작업상태를 정의할 수 있다.

4.2 시뮬레이션 시나리오

하역시스템의 성능분석 시나리오는 안벽, 야드, 이송의 3가지 부분에서 총 48개 조합을 구성하였다. 안벽부분에서는 장비유형 4개안을, 야드부분에서는 배치형태와 장비대수에서 각각 3개안을 고려하였다. 마찬가지로, 이송부분에서도 3가지 유형과 운행대수를 포함시켜 시나리오로 구성하였다.

각 항목별로 보면 안벽부분에서는 선석의 길이 350m에, 선석당 4대의 C/C가 하역작업을 수행하도록 구성하였는데, 이는 선박 대형화 추세를 감안할 때 향후 일반화될 작업환경이라

할 수 있다. 이송부문에서는 1대의 C/C에 최대 6대가 조별로 배정되는 시나리오를 구성하였다. 실제 터미널에서 보유하고 있는 이송장비의 대수가 C/C 대수를 기준으로 할 때 평균 4~5대임을 감안하면 적절한 시나리오 범위라고 할 수 있다. 야드부문에서도 터미널 작업을 고려하여 수평 또는 수직배치에 야드블록당 1~2대의 RMGC를 투입하는 시나리오를 구성하였다.

Table 8 Simulation Scenario for stevedoring system

구분	장비유형	대안구성	대안개수
안벽	싱글/듀얼/더블/슈퍼형	선석길이: 350m 장비대수: 4대	1개
이송	AGV/SHC/ALV	C/C당 3~6대	12개
야드	수평배치/수직배치	블록당 RMGC 1~2대	4개
합계	1 × 12 × 4 = 48개 시나리오		

4.3 시뮬레이션 분석도구

본 연구에서는 하역시스템의 성능분석을 위해 전용 분석도구를 개발하였다. 분석도구는 Visual Basic 6.0 범용언어를 사

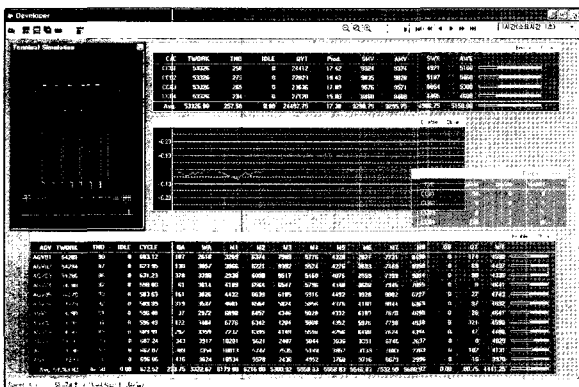


Fig. 11 User interface of the developed simulation model

용하였으며, 2D 애니메이션이 기능을 제공한다. 본 시뮬레이터를 통해 앞서 구성한 총 48개 하역시스템 시나리오에 대해 각각 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션시에는 시나리오별로 100시간의 선박양하작업을 수행하여 C/C의 생산성과 외부 트럭의 터미널 체류시간(turnaround time)을 산출하였다. 실험결과를 토대로 하역시스템의 성능을 평가하면 다음과 같다.

4.4 시뮬레이션 결과 분석

시뮬레이션 분석도구를 상용하여 하역성능을 측정된 결과를 가지고, 기존시스템과 비교한 결과는 다음과 같다.

1) 차세대 안벽시스템 성능평가

차세대 안벽시스템의 성능평가는 이송시스템으로 YT/AGV를 사용한다. 실험분석결과를 정리하면, 4가지 안벽장비는 이송장비 및 야드장비의 투입대수와 야드배치형태에 무관하게 거의 동일한 C/C 생산성을 보이는 것으로 나타났다. 물론 수직배치형에서도 다소 차이는 있으나, 그 정도가 매우 미미한 수준으로 장비상호간에 큰 차이는 보이지 않았다. 이렇게 안벽장비유형간에 생산성 차이가 미미한 것은 기존의 이송시스템인 YT나 AGV의 낮은 이송능력 때문이라 할 수 있다. 즉, 안벽장비의 하역작업을 충분히 뒷받침 할 수 있는 이송장비의 능력이 구비되지 못했기 때문이다. 한편, 야드배치형태에서는 RMGC의 블록당 투입대수가 1대인 경우에는 수평배치가, 2대인 경우에는 수직배치형태가 상대적으로 높은 C/C 생산성을 가지는 것으로 나타났다. 이는, RMGC 블록당 투입대수와 야드배치형태가 C/C의 하역생산성에 큰 영향을 주는 결정인자임을 알 수 있다.

이상을 종합하면 이송시스템으로 YT나 AGV를 사용하는 경우에는 고성능의 제원을 가진 안벽장비의 도입효과는 매우 낮다고 할 수 있다. 따라서, 하역시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 안벽시스템 이전에 이송시스템의 성능보완이 먼저 이루어져야 할 것으로 판단된다.

Table 9 Simulation result for next generation stevedoring system at container terminal

(unit: lifts/hour)

이송시스템	야드시스템	Single		Dual				Double				Supertainer					
		RMGC 1대		RMGC 2대		RMGC 1대		RMGC 2대		RMGC 1대		RMGC 2대		RMGC 1대		RMGC 2대	
		수평	수직	수평	수직	수평	수직	수평	수직	수평	수직	수평	수직	수평	수직	수평	수직
C/C당 3대	AGV	26.3	23.2	31.6	38.7	26.7	23.3	32.1	40.1	26.9	23.4	32.6	40.4	26.8	23.8	32.6	40.6
	SHC	40.8	28.4	42.5	51.4	41.2	28.3	42.7	56.6	41.4	28.2	42.7	56.0	41.6	28.1	42.9	57.0
	ALV	41.1	28.3	42.9	51.6	41.8	28.8	43.1	56.7	41.7	28.1	43.2	58.0	41.7	29.0	43.3	57.8
C/C당 4대	AGV	32.0	25.4	40.5	45.0	32.5	25.2	41.8	47.1	32.9	25.5	42.7	48.7	33.2	25.5	42.6	48.5
	SHC	45.3	29.5	51.8	52.1	46.3	29.2	55.8	58.8	46.2	29.7	56.9	63.3	46.1	29.3	56.8	62.0
	ALV	45.3	29.6	52.1	52.0	46.1	28.9	57.1	58.9	46.7	29.2	57.6	61.5	46.4	29.5	57.5	63.6
C/C당 5대	AGV	36.1	27.0	47.6	49.2	36.2	27.7	50.4	53.1	36.5	27.2	52.1	54.4	36.3	27.6	51.7	54.2
	SHC	46.8	30.4	52.2	52.1	47.4	29.5	61.0	59.8	46.9	30.6	70.2	65.4	46.8	29.9	70.1	63.9
	ALV	47.3	30.8	52.2	52.1	47.8	29.8	61.0	60.0	48.1	30.2	71.7	63.4	48.0	29.7	71.6	64.9
C/C당 6대	AGV	39.5	28.1	51.7	51.3	39.8	28.0	57.9	56.3	40.1	28.0	60.9	58.8	40.4	28.1	60.8	58.0
	SHC	47.7	30.6	52.2	52.2	47.8	30.0	61.0	60.7	48.6	30.8	82.7	66.0	48.4	29.6	82.0	66.4
	ALV	47.4	30.9	52.2	52.1	47.8	29.8	61.0	60.2	48.8	30.4	84.8	67.2	47.8	30.1	84.1	67.1

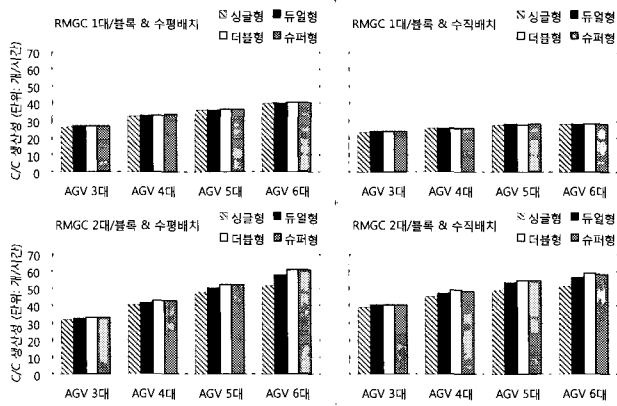


Fig. 12 YT or AGV-based performance

2) 차세대 이송시스템 성능평가

차세대 이송하역시스템의 성능평가는 기존 안벽장비인 싱글트롤리형 C/C를 그대로 사용하고 이송장비로 SHC나 ALV를 하역시스템에 도입하는 경우의 성능평가이다. 성능결과에서 나타난 값을 볼 때, SHC와 ALV는 거의 동일한 수준의 이송능력을 가진 것으로 나타났다. 이들 장비유형은 기존 YT나 AGV를 이송장비로 사용할 때 보다 상대적으로 우수한 C/C 생산성값을 산출하였다. 야드장비의 투입대수에 있어서는 블록당 RMGC 1대를 투입할 경우에 수평배치형이, 2대인 경우에 수직배치형이 각각 유리한 야드배치형태로 나타났다. 또한, 이송장비의 투입대수에서도 기존 YT나 AGV의 절반 수준을 투입하더라도 동일한 C/C 생산성을 보이는 것으로 나타났다. 따라서, 이송장비의 경우에는 기존 안벽장비인 싱글트롤리형 C/C를 그대로 사용하는 하역시스템상에서도 SHC나 ALV를 이송장비로 교체하면 C/C생산성 향상과 장비대수를 절감할 수 있는 도입효과가 있다고 할 수 있다.

비 3가지 유형과 이송장비 2가지 유형으로 구성된 하역시스템 시나리오가 대상이 된다.

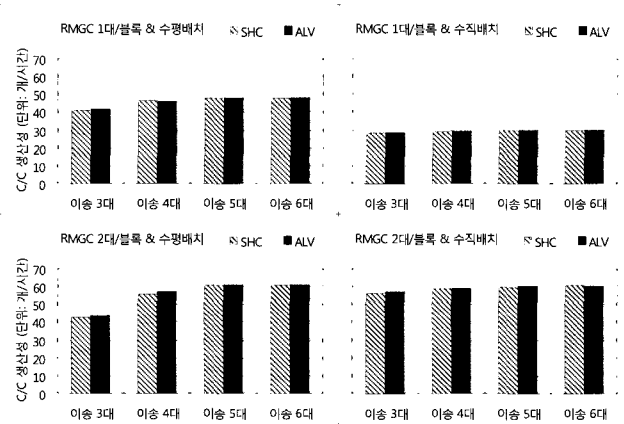


Fig. 14 Dual trolley type container crane-based performance

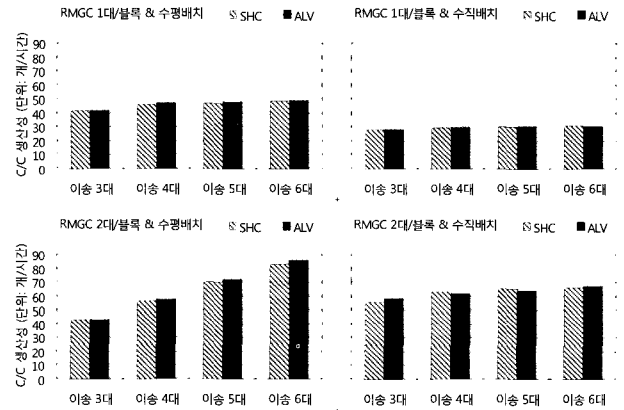


Fig. 15 Double type trolley container crane-based performance

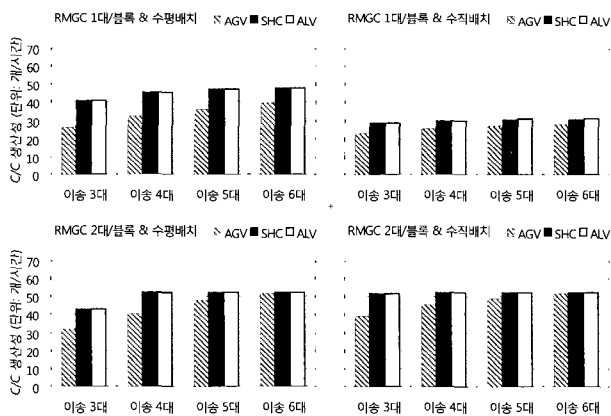


Fig. 13 Single trolley type container crane-based performance

3) 차세대 하역시스템 성능평가

차세대 하역시스템 성능평가는 기존 하역시스템에서 사용하는 장비유형을 탈피하여 새로운 안벽 및 이송장비유형으로 구성된 하역시스템의 성능을 평가하는 것이다. 이에겐 안벽장

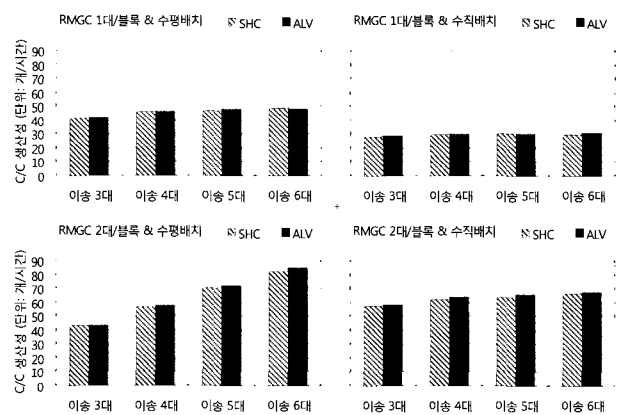


Fig. 16 Supertainer type container crane-based performance

시물레이션 결과에서 산출된 C/C 생산성값을 정리하면, 가장 우수한 성능을 나타낸 하역시스템 구성안은 안벽장비에 더블트롤리형 C/C, 이송장비에 ALV, 야드시스템에 RMGC 블

록당 2대 및 수평배치형태를 가지는 것으로 나타났다.

그러나, 이 구성은 이송장비가 C/C당 6대나 투입될 뿐 아니라, 안벽장비의 자체성능(Double: 104개/시간)에 비해 생산성 달성(84.8개/시간, 달성률: 81.5%)면에서도 효율성이 낮기 때문에 터미널에 적용하기에는 다소 무리가 따른다.

그러므로, 현재의 장비제작기술과 하역생산성 향상 효과면에서는 Dual C/C⇔SHC 3대⇔RMGC 2대&수직배치형이 차세대 하역시스템의 최적설계안이라 할 수 있겠다.

4) 반출입 외부트럭 터미널 서비스성능

외부트럭의 터미널 체류시간을 산정한 결과를 3가지 관점에서 종합 정리하면 다음과 같다.

첫 번째, 안벽장비의 유형별로 외부트럭의 체류시간에서는 큰 차이가 발생하지 않았다. 이는 안벽장비유형이 외부트럭의 체류시간에는 영향을 주지 않는 요소로 판단된다. 두 번째, 이송장비유형에 따른 체류시간의 차이에 있어서는 블록당 투입되는 RMGC의 규모에 따라 격차를 보이는 것으로 나타났다. RMGC 투입대수를 1대로 하였을 경우에 외부트럭의 체류시간이 AGV를 사용하는 경우에 낮게 나타났으나 SHC와 ALV를 사용하는 경우에는 높게 나타났다. 반면, RMGC를 블록당 2대로 하였을 경우에는 외부트럭의 체류시간이 모두 동일한 수준인 것으로 산출되었다. 세 번째, 야드배치형태에 따른 체류시간 역시 RMGC의 투입대수를 기준으로 볼 때, 1대의 경우 상대적으로 수평배치에 비해 수직배치형태에서 높게 산출되었다. 이는 수평배치형태에 비해 수직배치형태에서 RMGC의 평균하역생산성이 낮기 때문에 반출입 외부트럭에 대한 야드 서비스 시간이 길어져 전체적으로 체류시간이 높아진 것이라 할 수 있다. 그러나, RMGC 2대를 투입한 경우에는 투입대수가 전체적으로 증가하였기 때문에 수직배치에서도 수평배치와 동일한 수준의 외부트럭 체류시간이 산출되었다.

4.5 차세대 하역시스템 개발 전략

본 연구에서는 기존 하역시스템의 생산성을 점진적으로 향상시키는 방안으로 차세대 하역시스템 개발전략을 단계별 과정으로 정리해 보았다. 차세대 하역시스템 개발전략은 하역시스템의 성능평가에서 나타난 결과를 토대로, 각 장비유형의 자체 보유성능, 장비소요규모 등을 고려하여 하역시스템을 단계적으로 부분 교체하는 전략을 말한다. 그 내용은 세부적으로 설명하면 다음과 같다.

먼저, 안벽부문에서는 기계적 성능이 우수한 유형일수록 도입 또는 개발비용이 높아지기 때문에 싱글형⇒듀얼형⇒슈퍼형⇒더블형의 순으로 장비를 개발·도입하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이송부문에서는 장비의 제작비용보다는 장비의 대수가 가급적 적게 투입하는 전략이 효과적일 것으로 판단된다. 야드부문에서는 현재, 가장 보편적으로 적용되고 있는 RTGC 시스템을 RMGC 시스템으로 점차 대체해야 하는 것이 향후 하역시스템의 성능을 높이는 방안이며, 이와 동시에 장비의 소요규모도 비용과 생산성 측면을 동시에 고려하여

투입대수를 결정해야 할 것이다. 실험결과에서도 나타났듯이 블록당 RMGC 1대를 투입할 경우 야드시설에서 블록의 배치 방향을 수평으로 설계하는 것이 하역성능측면에서 유리하며, 더 나아가 하역시스템의 성능을 한층 더 높이기 위해서는 블록당 2대의 RMGC를 투입이 불가피하므로, 이 경우에는 수평보다는 수직형태로 야드블록을 배치하는 전략이 필요하다.

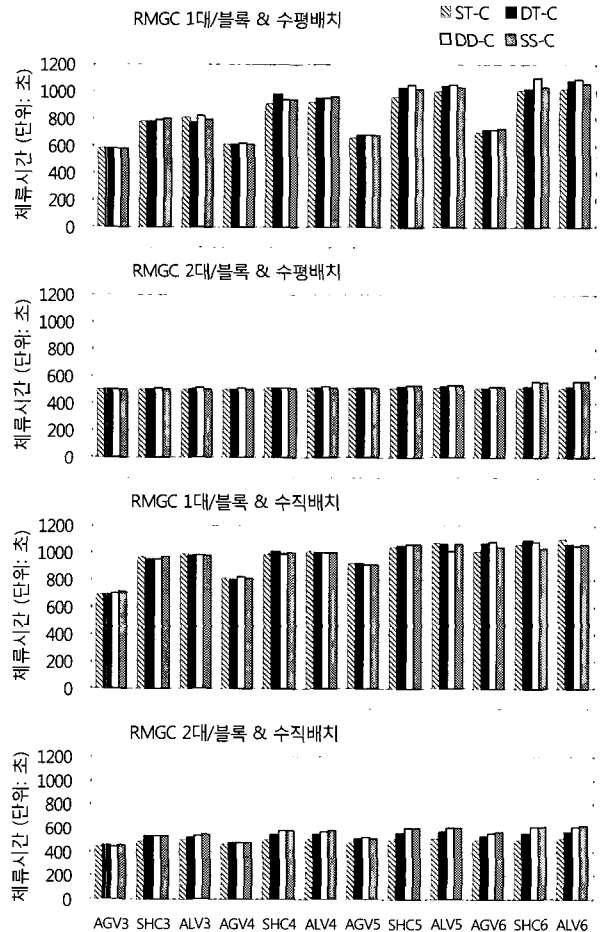


Fig. 17 Turnaround time of External truck at container terminal

Table 10 Strategies for developing next generation stevedoring system of container terminal

구분	안벽 시스템	이송시스템		야드시스템		C/C 생산성	
		유형	대수	RMGC	배치	개/시간	향상율
현재	Single	YT/AGV	5대	1대/블록	수평	36.2	-
↓							
단계 1	Single	SHC/ALV	4대	1대/블록	수평	45.3	25.1%p
:	:	:	:	:	:	:	:
단계 2	Single	SHC/ALV	3대	2대/블록	수직	51.6	42.5%p
:	:	:	:	:	:	:	:
단계 3	Dual	SHC/ALV	3대	2대/블록	수직	56.6	56.4%p
:	:	:	:	:	:	:	:
단계 4	Super	SHC/ALV	3대	2대/블록	수직	57.8	59.7%p
:	:	:	:	:	:	:	:
단계 5	Double	SHC/ALV	3대	2대/블록	수직	58.0	60.0%p
:	:	:	:	:	:	:	:

현재, 국내외 터미널의 대부분은 싱글트롤리형 C/C와 YT를 이송장비로 사용하며, 야드에는 수평배치형태에 RTGC 장비를 적용한 하역시스템이 일반화되어 있다. 이러한 여건에서 기존 하역시스템의 형태를 개선하여 터미널의 생산성을 향상시키기 위한 다음 단계의 개발방안은 기존의 안벽과 야드시스템 설계형태를 그대로 유지할 수 있고 이송시스템만을 신규 장비유형으로 교체하는 것이며, 이에 기존 YT/AGV를 SHC 장비로 대체하는 것이 된다. 이 경우 기존 C/C의 생산성이 36.2개/시간에 불과하지만 개선된 하역시스템의 C/C 생산성은 시간당 45.3개를 처리할 수 있기 때문에 터미널의 생산성은 기존대비 25.1%p 향상되는 효과를 거둘 수 있다고 할 수 있다. 물론, 하역시스템의 개선에는 야드배치형태를 변경해야 되는 큰 부담이 있을 수 있기 때문에 가급적 현재의 야드배치 형태를 유지하면서 신규장비를 도입하거나 장비의 대수를 추가하는 것이 효과적인 하역성능 제고 방안이라고 하겠다.

5. 결 론

본 연구에서는 터미널의 하역시스템을 구성하는 차세대 장비유형에 대한 하역성능을 산출하고, 그 결과를 토대로 향후 컨테이너 터미널의 하역시스템 설계 방안을 수립해 보았다.

제시된 차세대 대안은 안벽부문에 듀얼형, 더블형, 슈퍼형 C/C의 3가지 유형을, 이송부문에 SHC, ALV를 차세대 하역장비 대안으로 제시하였다. 야드시설에 있어서는 수직 및 수평 배치안을 모두 하역시스템 설계안에 포함하였으며, 장비유형에는 RMGC를 사용하는 대안을 제시하고 시뮬레이션을 통해 그 성능을 측정하였다. 분석결과를 정리하면, 기존의 이송장비인 YT나 AGV를 이송시스템으로 사용하는 경우에는 안벽장비 4가지 유형이 거의 동일한 수준의 하역성능을 보였기 때문에 고성능 안벽장비의 도입 필요성은 낮은 것으로 판단하였으며, 반면, SHC와 ALV를 이송시스템으로 도입하는 경우에는 하역성능이 매우 향상되는 효과가 있었다.

현재, 국내 터미널의 경우 지난 20여년간 하역시스템은 하드웨어측면에서는 큰 변화없이 운영되어 왔다. 그러나, 터미널의 하역생산성을 지속적으로 향상시키기 위해서는 터미널의 하역시설 및 하역장비의 고성능화가 달성되어야 하며, 터미널의 작업환경에 맞는 하역시스템 설계방법과 성능분석이 병행되어야 할 것으로 본다. 이에 본 연구에서 수행된 컨테이너 터미널의 시뮬레이션 분석모델과 하역시스템 설계안은 향후 고생산성의 하역성능을 가진 차세대 컨테이너 터미널을 개발하는데 유용하게 활용될 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] Davis Rudolft III, C.(2001), "Container-crane Productivity : Can it Keep up with Container Ship Size Increase?", Port Technology International 14th Edition.
- [2] Jordan, M. A., and S. E.(1997), "Super Productive Cranes", presented at TOC Europe, Marcelona.
- [3] Jordan, M. A., S. E.,(2002), "Quay Crane Productivity", presented at TOC Americas, Miami.
- [4] Liu, C. I., Jula, H., and Vukadinovic, K.(2004), "Automated guided vehicle system for two container yard layout", Transportation Research Part C 12, pp.349-368.
- [5] Morris, C. A., SE & Patrick E. McCarthy(2001), "The Impact of Jumbo Cranes on Wharves", Liftech Consultants Inc.
- [6] Saanen, Y. A. and Valkengoed, M. V.(2005), "Comparison of three automated stacking alternatives by means of simulation", Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, pp.1567-1576.

원고접수일 : 2007년 1월 2일

원고채택일 : 2007년 3월 29일