

컨테이너 터미널의 차세대 안벽크레인 생산성 비교분석

하태영* · 최용석**

*, ** 한국해양수산개발원, 해운물류항만연구센터

A Comparative Study on Productivity of Next Generation Quay Crane in Container Terminal

Tae-Young Ha* · Yong-Seok Choi**

Shipping, Logistics and Port Research Center, Korea Maritime Institute, Seoul, Korea

요 약 : 본 연구에서는 수직배치형 블록을 가지는 컨테이너 터미널을 대상으로 안벽에서 컨테이너의 양·적하 작업을 담당하는 안벽크레인(Q/C)에 대한 하역생산성을 비교분석하였다. 분석 대상이 되는 안벽크레인의 유형은 기존의 싱글트롤리 타입외에 차세대 안벽크레인으로 인식되고 있는 듀얼트롤리, 더블트롤리, 수직순환식의 하역방식을 가지는 장비에 대한 하역생산성을 순작업시간당 생산성 측면에서 이들 하역장비의 성능을 측정해 보았다. 이들 차세대 컨테이너 크레인들은 기존의 싱글트롤리 타입의 장비에 비해 기계적 사이클 타임이 짧으며, 선회방식이 상이하여 현재의 싱글 트롤리타입보다 하역생산성이 매우 높을 것으로 보고 있다. 본 연구의 결과로 제시된 4가지 유형의 안벽크레인에 대해 작업사이클타임과 시뮬레이션 기법을 이용하여 기계적생산성과 순작업생산성을 산출하였다.

핵심용어 : 컨테이너 터미널, 수직배치형 블록, 싱글트롤리, 듀얼트롤리, 더블트롤리, 슈퍼테이너

ABSTRACT : This paper analyzed productivity of quay cranes on container terminal that have perpendicular yard layout block. In most existing container terminals, quay cranes of single trolley type are used to loading and unloading containers, but quay crane productivity of these type has many limitation about large size containership. For these reasons, recently quay cranes of various type that can improve productivity are developed and as the representative example, dual trolley, double trolley, supertainer are developing. These cranes are realized that very high productivity because their cycle time is short more than existent single trolley quay crane. Therefore, we analyzed productivity of these cranes that are realized by next generation crane alternatives and as result of this research, mechanical productivity by cycle time and net productivity by simulation were measured.

KEY WORDS : container terminal, perpendicular layout, single trolley, dual trolley, double trolley, supertainer

1. 서 론

컨테이너 터미널의 하역생산성을 결정하는 주요 지표로 안벽크레인(Quay Crane, Q/C)의 하역생산성인 시간당 처리량(개수/시간)이 주로 사용되고 있다. 안벽크레인의 생산성은 크게 3가지 기준에서 각각 기계적생산성, 순작업생산성, 총작업생산성으로 구분되어 산정되는 것이 일반적이다. 이들 생산성은 장비의 기계적 제원에 따른 1회 작업 사이클(1 cycle)정보만을 기준으로 한 기계적생산성값이 수치상으로 가장 높으며, 그

다음으로 순작업생산성, 총작업생산성의 순으로 값을 가진다. 순작업생산성의 경우는 기본적인 이송 및 야드작업이 원활히 지원되는 상태에서 하역생산성을 의미하지만, 총작업생산성은 순작업생산성에 크레인의 고장, 수리, 작업자 교대 등을 추가로 고려하여 산출되는 것으로 터미널의 작업환경에 따라 상이한 값을 가질 수 있는 것이 일반적이다.

현재 국내의 컨테이너 터미널에서 사용되고 있는 안벽크레인은 전량 싱글트롤리(Single Trolley) 유형의 장비로 기계적생산성은 45(개/시간) 수준이며, 순작업생산성과 총작업생산성은

* 대표저자, haty@kmi.re.kr 02)2105-2887

** 중신회원, drasto@kmi.re.kr 02)2105-2886

각각 평균 29.8(개/시간), 24.7(개/시간)로 집계되고 있다(2003년도 컨테이너화물 유통추이 및 분석, 한국컨테이너부두공단). 이러한 싱글트롤리 유형의 크레인인 1개의 트롤리가 2개의 작업지점을 단독으로 순회하는 작업방식으로 선박의 대형화에 취약한 하역생산성을 나타내고 있기 때문에 생산성 향상에 이미 한계를 보이고 있다.

이러한 이유로 현재의 크레인 하역생산성을 더욱 향상시킬 수 있는 다양한 작업방식의 차세대 안벽크레인의 개념 및 기술개발이 이루어지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 차세대 안벽크레인으로 부각되고 있는 듀얼트롤리, 더블트롤리, 수직순환식트롤리의 하역 생산성을 기계적생산성 및 순작업생산성 측면에서 기존의 싱글트롤리와 비교분석해 보았으며, 본 연구의 결과를 통해 기존의 터미널 하역생산성을 향상시킬 수 있는 차세대 안벽크레인의 개발방향을 수립할 수 있을 것으로 본다.

2. 터미널 하역작업

2.1 양하 및 적하

안벽크레인과 관련된 터미널의 하역작업은 크게 2가지로 구분되는데, 선박으로부터 컨테이너를 터미널내로 내리는 양하 작업과 터미널내 장치장의 컨테이너를 선박에 적재하는 적하 작업이 있다. 양하 및 적하작업시에 이송장비가 안벽크레인과의 장치장간의 운반작업을 수행하며 장치장내 하역작업은 야드크레인이 담당한다.

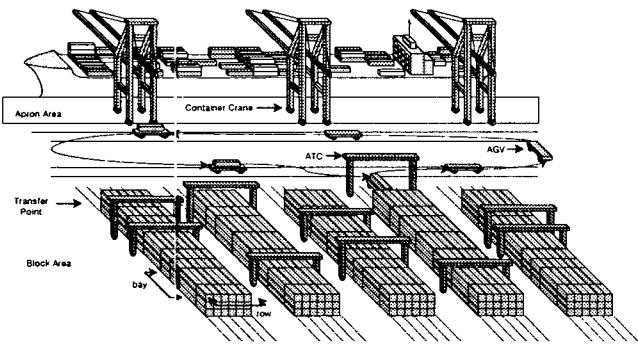


Fig. 1 Stevedoring system in container terminal

Fig 1은 수직배치형 터미널에서 안벽, 이송, 야드장비간의 하역작업관계를 나타낸 것이다. 보통 1대의 안벽크레인에 수대의 이송장비와 야드장비가 한개의 조를 이루어 작업이 진행되고, 터미널 상황에 따라 장비간의 대기현상으로 작업지연이 발생하기도 한다. 이러한 장비간 대기현상으로 장비의 순작업생산성은 기계적생산성보다 낮아지게 되며, 기계적생산성이 높은 안벽크레인이라해도 이송 및 야드작업의 지원수준에 따라 순작업생산성값은 매우 유동적인 값을 가질 수 있다.

2.2 안벽크레인 유형

현재 국내에서는 싱글트롤리 유형의 안벽크레인 한가지 유형만이 사용되고 있는데, 먼 작업거리를 1개의 트롤리가 순회하기 때문에 하역생산성이 높지 않고 선박의 대형화에도 취약한 점을 가지고 있다. 이러한 이유로 다양한 작업방식의 차세대 안벽크레인이 개발되고 있는 추세이다. 본 연구의 대상이 되는 크레인 유형에 대해 살펴보면 다음과 같다.

① 싱글 트롤리(Single Trolley)

하나의 트롤리가 부착된 안벽크레인으로 1회의 선회작업시 1개의 컨테이너를 양·적하할 수 있으며, 기존의 대부분 터미널에서 이 유형의 장비를 사용하고 있다. 싱글 트롤리 크레인의 동작원리는 다음과 같다.

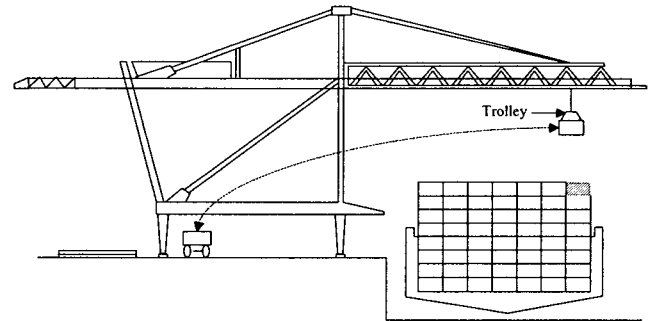


Fig. 2 Single trolley operation

② 듀얼 트롤리(Dual Trolley)

이 크레인은 중앙부분에 버퍼공간을 두고 두개의 트롤리가 작업거리를 분담하는 형식이다. 버퍼공간을 사용하기 때문에 추가로 버퍼하역작업이 발생하며, 버퍼의 크기에 따라 두 트롤리의 간섭이 예상되나 2개 이상일 경우 작업간섭은 발생하지 않는 것이 통상적이다.

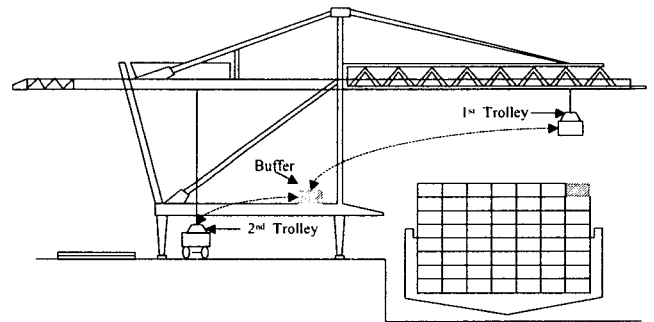


Fig. 3 Dual trolley operation

③ 더블 트롤리(Double Trolley)

두개의 트롤리가 부착된 점은 듀얼과 동일하나 작업거리를 분할하지 않고 각 트롤리가 독립적으로 하역을 한다는 점에서 듀얼과 차이가 있다. 그러나, 두 트롤리간의 작업간섭이 해

과 육측작업지점에서 발생하는 특징이 있다.

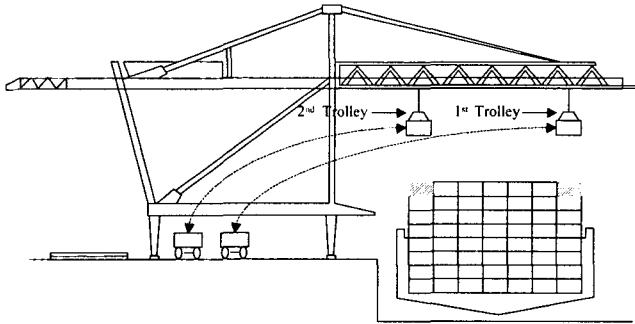


Fig. 4 Double trolley operation

④ 수직순환식 트롤리(Supertainer)

두개의 트롤리와 한개의 트래버서가 부착된 크레인으로 두 트롤리는 해측과 육측에서 각각 양·적하작업만을 수행한다. 중앙의 트래버서는 해측과 육측간 수평이송작업을 전담하는 형식으로 컨테이너 교환작업이 해측과 육측 2지점에서 발생하는 특징이 있다.

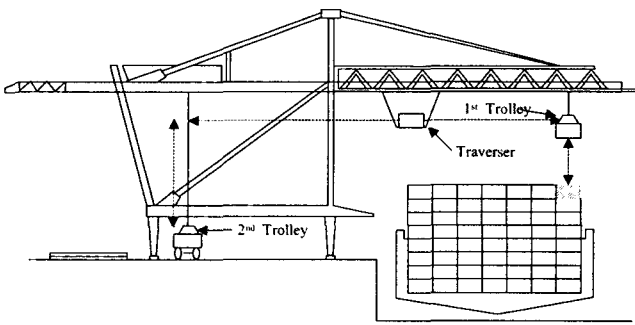


Fig. 5 Supertainer operation

3. 크레인 생산성

3.1 산출기준

안벽크레인의 생산성은 시간당 컨테이너 양·적하개수라 할 수 있으며, 크게 다음과 같은 3가지 생산성이 주로 사용된다.

Table 1 Q/C productivity

구분	산출근거
기계적생산성	기계적인 성능만을 기준으로 산출된 시간당 하역량
순작업생산성	양적하 작업시 장비간 대기시간을 추가로 고려하여 산출된 시간당 하역량
총작업생산성	크레인의 고장, 작업자교대 등 터미널 환경등을 고려하여 산출된 시간당 하역량

일반적으로 기계적생산성은 장비의 제원을 토대로 1회 작업

사이클을 계산함으로써 쉽게 산출이 가능하나, 순작업생산성과 총작업생산성은 안벽크레인 단독작업이 아니므로 산술적인 계산이 용이하지 않다. 특히, 총작업생산성은 터미널의 환경적인 요소를 추가로 고려해야 한다는 점에서 객관적인 산출에 어려움이 많다.

따라서, 본 연구에서는 안벽크레인의 기계적생산성과 순작업생산성을 비교평가 대상으로 하며 기계적생산성은 작업사이클에 기준한 산출계산으로, 순작업생산성은 수립된 모형에 의한 시뮬레이션 분석을 통하여 산출하였다.

3.2 기계적 생산성

안벽크레인의 기계적생산성은 1회 작업사이클을 시간단위로 환산것으로, 하역작업시 트롤리의 이동거리와 기계적능력에 기초하여 비교적 용이하게 계산할 수 있다.

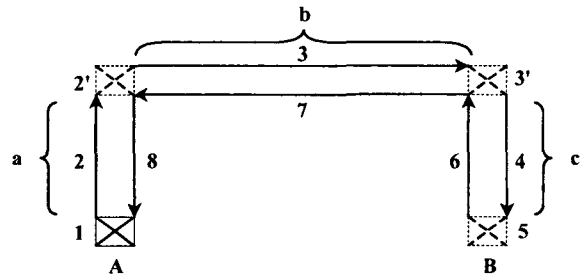


Fig. 6 Cycle path of trolley

앞서 제시된 4가지 유형에서 각 장비의 트롤리 이동거리는 다소 차이는 있으나, 기본적으로 수직 및 수평이동의 반복작업이며, Fig. 6와 같은 작업과정을 거친다.

Fig. 6에 표시된 A지점은 싱글트롤리/더블트롤리/수직순환식의 경우 안벽의 차량위치가 되고 B지점은 선벽적재위치가 된다. 또한, 싱글트롤리의 경우 1개의 트롤리가, 듀얼트롤리의 경우 2개의 트롤리가 순회작업을 하며, 수직순환식의 경우에는 a, b, c 구간을 2nd트롤리, 트래버서, 1st 트롤리가 각각 분담하는 형식이다. 듀얼트롤리의 경우는 1st 트롤리를 기준으로 할때 A지점이, 2nd트롤리를 기준으로 할때 B지점이 크레인의 버퍼지점으로 간주될 수 있다.

각 크레인성능과 주작업경로(Critical Path)를 토대로 4가지 유형의 기계적생산성을 산출하면 다음과 같다.

Table 2 Q/C specification

구분	부하시	무부하시
호이스트속도	240m/sec	240m/sec
트롤리속도	90m/min	180m/min
안착/탈착시간	2sec	2sec
Distance. a	듀얼 1st: 14m, 그 외: 18m	
Distance b	듀얼 1st: 43m, 그 외: 74m	
Distance c	17m	

Table 3 Critical path of each Q/C

구분	적용대상	주작업경로
싱글	트롤리	1(apron),2,3,4,5,6,7,8
듀얼	1st 트롤리	1(buffer),2,3,4,5,6,7,8
더블	1st, 2nd 트롤리	1(apron),2,3,4,5,6,7,8
수직순환	트래버서	2',3,3',7

Table 4 Q/C productivity by cycle time

구분	사이클타임	기계적생산성
싱글	75.00sec	48.00lifts/hr
듀얼	56.50sec	63.72lifts/hr
더블	76.00sec	94.74lifts/hr
수직순환	41.00sec	87.80lifts/hr

더블트롤리의 경우 2개의 트롤리가 작업함으로 산술적으로 싱글트롤리의 2배에 해당하는 값으로 계산되었다.

3.3 순작업 생산성

순작업생산성의 경우는 장비간의 대기시간을 고려해야 하며, 이는 하역작업시 이송, 야드장비와의 연계상황에서 발생하므로 수리적인 분석에 매우 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서는 시뮬레이션을 통해 안벽크레인의 순작업생산성을 산출하였다.

4. 모델 설계

본 연구에서는 안벽크레인의 하역작업 과정을 묘사할 수 있는 시뮬레이션 모델을 수립하였다. 모델의 설계는 정의된 작업상태와 상태전이도를 토대로 크레인의 하역작업을 작업상태의 반복적인 과정으로 표현한 것으로, 이러한 상태정의와 상태전이도는 분석의 목적에 따라 작업상태와 상태전이도를 재구성하여 사용할 수 있는 이점을 가지고 있으며, 상태정의와 상태전이도의 설계대상은 크레인에 부착된 트롤리가 된다.

4.1 싱글 트롤리(Single Trolley) 모델

1개의 트롤리에 대해 총 5가지 상태정의와 전이도로 구성된 시뮬레이션 모델을 설계하였다.

Table 5 Definition of states for single trolley

상태	작업내용
WS	선박작업지점에서 양·적하
MA	선박작업지점에서 안벽작업지점으로 이동
QA	안벽작업지점에서 이송장비를 대기
WA	안벽작업지점에서 양·적하
MS	안벽작업지점에서 선박작업지점으로 이동

4.2 듀얼 트롤리(Dual Trolley) 모델

2개의 트롤리에 대해 총 11가지 상태로 정의하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

Table 6 Definition of states for dual trolley

상태	작업내용
WS	선박작업지점에서 1st가 양·적하
MB1	선박작업지점에서 1st가 버퍼지점으로 이동
QB1	버퍼지점에서 1st가 대기
WB1	버퍼지점에서 1st가 양·적하
MS	버퍼지점에서 1st가 선박작업지점으로 이동
WA	안벽작업지점에서 2st가 양·적하
MB2	안벽작업지점에서 2st가 선박작업지점으로 이동
QB2	버퍼지점에서 2st가 대기
WB2	버퍼지점에서 2st가 양·적하
MA	버퍼지점에서 2st가 안벽작업지점으로 이동
QA	안벽작업지점에서 2st가 이송장비를 대기

4.3 더블 트롤리(Double Trolley) 모델

2개의 트롤리에 대해 총 7가지 상태로 정의하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

Table 7 Definition of states for double trolley

상태	작업내용
WS	선박작업지점에서 양·적하
MA	선박작업지점에서 안벽작업지점으로 이동
QT1	안벽작업지점에서 트롤리간 작업간섭으로 대기
QA	안벽작업지점에서 이송장비를 대기
WA	안벽작업지점에서 양·적하
MS	안벽작업지점에서 선박작업지점으로 이동
QT2	선박작업지점에서 트롤리간 작업간섭으로 대기

4.4 수직순환식 트롤리(Supertainer) 모델

2개의 트롤리와 1개의 트래버서에 대해 총 11가지 상태로 정의하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

Table 8 Definition of states for supertainer

상태	작업내용
WS	선측에서 양·적하
QS1	해측에서 해측트롤리가 중앙트래버서를 대기
QS2	해측에서 중앙트래버서가 해측트롤리를 대기
TS	해측에서 컨테이너 교환작업
MA	중앙트래버서가 해측에서 육측으로 이동
QA1	육측에서 육측트롤리가 중앙트래버서를 대기
QA2	육측에서 중앙트래버서가 육측트롤리를 대기
TA	육측에서 컨테이너 교환작업
MS	중앙트래버서가 육측에서 해측으로 이동
QA	육측트롤리가 이송장비를 대기
WA	안벽에서 양·적하

5. 생산성 비교분석

5.1 시뮬레이션 수행방법

시뮬레이션 분석은 1개 선석(350m)에 수직배치형태의 장치장 구조(7개 블록)를 가지는 자동화 터미널을 대상으로 하였으며, 이송장비와 야드장비의 연계성을 고려하여 분석하였다.

Table 9 Terminal Configuration for simulation

구분	설정
장치장	수직배치형, 블록당 41베이, 9열 5단
안벽장비	1개 선석(350m), 4대
이송장비	close loop 운행방식, 조별 작업
야드장비	블록당 2대 배치, 교행가능

야드 장비의 작업설정은 블록당 2대가 본선작업에 투입되는 경우(14대)를 대상으로 하였으며, 이송장비의 작업설정은 Q/C와 조별작업을 수행하므로 Q/C당 2~7대를 투입하여 운행속도(2m/s~6m/s)에 따라 Q/C의 생산성 변화를 분석하였다.

5.2 시뮬레이션 결과

이송장비의 주행속도와 조별 투입대수에 따른 QC의 생산성 분석 시나리오는 총 25개로 그 결과는 다음과 같다.

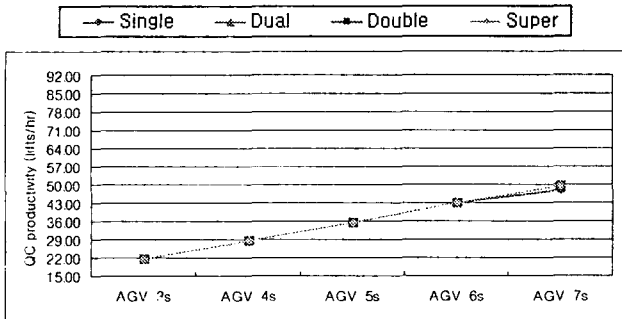


Fig. 7 Q/C productivity by vehicle fleets(2.0m/sec)

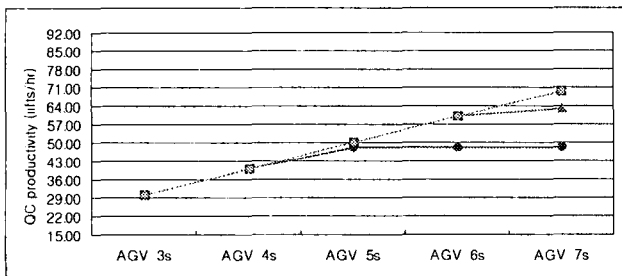


Fig. 8 Q/C productivity by vehicle fleets(3.0m/sec)

평균주행속도 2.0m/s 운행시에는 4가지 유형의 Q/C가 기계적생산성에 상관없이 Q/C의 순작업생산성은 거의 차이가 없는 것으로 분석되었으며, 평균주행속도 3.0m/s이상부터는 AGV의 운행대수에 따라 각 Q/C의 순작업생산성에 분명한 차이를

보였다.

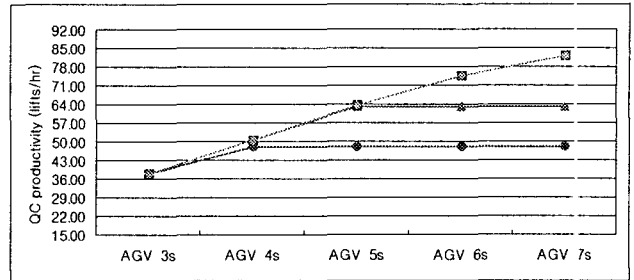


Fig. 9 Q/C productivity by vehicle fleets(4.0m/sec)

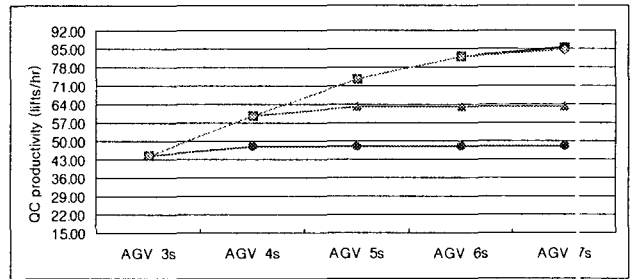


Fig. 10 Q/C productivity by vehicle fleets(5.0m/sec)

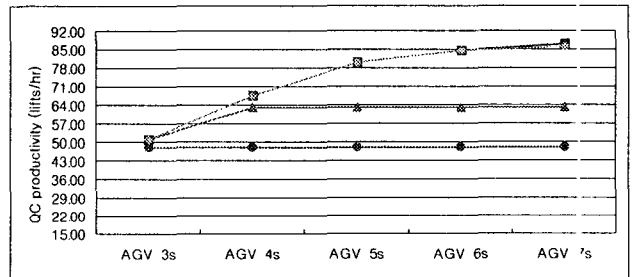


Fig. 11 Q/C productivity by vehicle fleets(6.0m/sec)

생산성에서 차이를 보인 Q/C에 대해 살펴보면, 싱글 Q/C의 경우 3.0m/s(5대), 4.0m/s(4대), 5.0m/s(3대), 6.0m/s(2대)지점, 듀얼 Q/C의 경우 3.0m/s(6대), 4.0m/s(5대), 5.0m/s(4대)지점을 기점으로 각각 상대적으로 기계적 생산성이 높은 Q/C와 차이를 보이기 시작했으며, 이는 AGV의 운행속도가 증가할 수도 더욱 커지는 현상을 보였다.

한편, 기계적 생산성이 상대적으로 높은 더블과 수직순환식 Q/C의 경우는 AGV의 주행속도와 운행대수에 무관하게 거의 동일한 생산성을 나타내는 것으로 분석되었는데, 이것은 현재의 이송장비의 주행속도(최대 6m/s)와 운행대수(Q/C당 7대)가 이들 Q/C의 기계적싸이클 타임을 충족시킬 없었음을 의미하며, 따라서 작업시 Q/C의 대기시간비율이 많이 발생한 결과라 할 수 있다.

Table 10~14는 각 시나리오 별로 Q/C의 대기시간비율을 산출한 것으로, 회색으로 표시된 부분은 AGV 운행대수별 기준으로 각 Q/C간의 생산성이 10%미만의 차이를 보이는 경우에 대기시간비율이 상대적으로 낮은 것을 표시한 것이다. 이것은 기계적생산성에 대비하여 순작업생산성이 상대적으로 높음을

의미하는 것으로 볼 수 있다.

Table 10 Waiting rates of Q/C by vehicle fleets(2.0m/sec)

구분	AGV 3s	AGV 4s	AGV 5s	AGV 6s	AGV 7s
Single	55.39%	40.54%	25.68%	10.81%	0.00%
Dual	66.40%	55.20%	44.01%	32.82%	22.35%
Super	75.62%	67.49%	59.36%	51.24%	43.60%
Double	78.10%	70.79%	63.50%	56.20%	49.34%

Table 11 Waiting rates of Q/C by vehicle fleets(3.0m/sec)

구분	AGV 3s	AGV 4s	AGV 5s	AGV 6s	AGV 7s
Single	37.23%	16.33%	0.00%	0.00%	0.00%
Dual	52.72%	36.97%	21.24%	5.58%	0.91%
Super	65.68%	54.25%	42.83%	31.45%	21.12%
Double	69.17%	58.90%	48.64%	38.42%	29.06%

Table 12 Waiting rates of Q/C by vehicle fleets(4.0m/sec)

구분	AGV 3s	AGV 4s	AGV 5s	AGV 6s	AGV 7s
Single	20.78%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Dual	40.32%	20.44%	0.91%	0.91%	0.91%
Super	56.68%	42.25%	27.91%	15.38%	6.72%
Double	61.09%	48.13%	35.25%	23.98%	16.16%

Table 13 Waiting rates of Q/C by vehicle fleets(5.0m/sec)

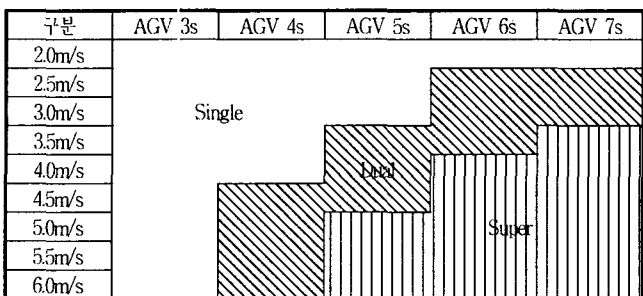
구분	AGV 3s	AGV 4s	AGV 5s	AGV 6s	AGV 7s
Single	6.79%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Dual	29.79%	6.47%	0.91%	0.91%	0.91%
Super	49.04%	32.09%	16.55%	6.87%	3.82%
Double	54.22%	39.00%	25.00%	15.89%	12.37%

Table 14 Waiting rates of Q/C by vehicle fleets(6.0m/sec)

구분	AGV 3s	AGV 4s	AGV 5s	AGV 6s	AGV 7s
Single	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Dual	20.26%	0.91%	0.91%	0.91%	0.91%
Super	42.11%	23.05%	9.16%	3.99%	1.88%
Double	48.00%	30.88%	18.37%	13.45%	11.20%

이상의 내용에서 Q/C의 하역생산성은 터미널의 하역시스템 구조(이송장비, 야드장비 연계)에 따라, 기계적생산성과 순작업생산성에서 많은 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 이것은 높은 기계적생산성이 반드시 높은 순작업생산성을 가지지는 않은 다는 것을 의미하는 것이라 할 수 있고 따라서, 터미널의 하역시스템구조에 따라 가장 적합한 장비유형을 선택할 수 있다고 판단된다.

Table 15 Operation Strategy of Quay crane



이에, 본 연구에서는 이송장비의 주행속도와 운행대수를 고려한 현재의 터미널 하역시스템 구조에서 다음과 같은 Q/C의 유형별 운영전략지표를 작성해 보았다.

Fig. 15의 Q/C 운영전략지표는 이송장비의 평균주행속도와 운행대수를 고려할 때, 현재의 자동화 터미널의 하역시스템에 가장 적합한 안벽크레인 유형을 보여주고 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 컨테이너 터미널에서 서로 상이한 작업방식과 사이클타임을 가지는 4가지 유형(싱글, 듀얼, 더블, 수직순환식)의 안벽크레인에 대한 생산성 비교분석을 하였으며 안벽크레인의 생산성을 크게 기계적생산성, 순작업생산성, 총작업생산성으로 구분하였다. 생산성 비교분석은 작업 사이클 타임과 장비의 작업방식을 고려한 수치적인 방법으로 장비의 기계적생산성을 계산하고, 이송장비와 야드장비로 구성된 시뮬레이션 분석방법으로 장비의 순작업생산성을 산출하였다. 생산성 분석결과에서 기계적생산성의 경우 더블트롤리, 수직순환식, 듀얼, 싱글순으로 생산성이 우수하였으며, 순작업생산성의 경우는 장비의 효율성 측면과 하역시스템 측면에서 더블트롤리와 수직순환식의 경우 거의 동일한 수치를 보였으며, 이의 결과를 토대로 장비유형별 운영전략지표를 작성하였다.

본 연구의 결과로 제시된 Q/C의 운영전략지표는 자동화 터미널의 하역시스템의 설계에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 최용석, 김우선, 하태영(2004), "컨테이너터미널의 야드 트랙터 소요대수 추정", 한국항해항만학회지, 제28권, 제6호, 549-555.
- [2] 하태영, 최용석, 김우선, "자동화 컨테이너 터미널의 이송장비 운영평가를 위한 시뮬레이션 모델", 한국항해항만학회 2004년 춘계학술대회 논문집, pp. 443-449, 2004.
- [3] C. Davis Rudolf III(2001), "Container-crane Productivity: Can it Keep up with Container Ship Size Increase?", Port Technology International 14th Edition.
- [4] Michael A. Jordan, S.E.(2002), "Quay Crane Productivity", presented at TOC Americas, Miami, November.
- [5] Michael A. Jordan, SE.(1997), "Super Productive Cranes", presented at TOC Europe, Marcelona, June 3-5.