

자동화 컨테이너 터미널의 셔틀 캐리어 이송능력 분석

하태영*, 최용석*

Performance Analysis of A Shuttle Carrier at Automated Container Terminal

Tae Young Ha, Yong Seok Choi

Abstract

The purpose of this paper is to analyze transport ability of AGV(Automated Guided Vehicle) and SHC(Shuttle Carrier). The main difference between two types of transport vehicles is that AGV depends on container crane or transfer crane to do loading/unloading container, but SHC is very independent to it. Therefore, the transport ability of SHC is expected to be higher than AGV. So, in this paper, we established simulation model to evaluate two types of transport vehicles and analyzed the results. Simulation model was established to automated container terminal with perpendicular yard layout, and applied closed loop operation of transport vehicle between apron and stacking yard. In the result, SHC showed very superior than AGV aspect of container crane productivity and vehicle fleets.

Key Words : Automated Container Terminal, AGV, Shuttle carrier, Productivity

* 한국해양수산개발원 해운물류·항만연구센터

1. 서론

컨테이너 터미널의 하역시스템은 크게 3가지 영역의 하역작업으로 구성된 시스템으로, 하역장비 측면에서 안벽에서 선박 하역작업을 담당하는 안벽장비(Container Crane, C/C)와 장치장에서 컨테이너 하역작업을 담당하는 야드장비(Transfer Crane, T/C)가 있으며, 이 두 작업영역간의 컨테이너 내부이송을 담당하는 이송장비(Yard Truck, Y/T)가 있다.

특히, 이송장비의 경우 대부분의 터미널에서는 안벽장비와 야드장비의 하역기능에 전적으로 의존하여 컨테이너 이송작업을 수행하는 야드트럭(Yard Truck, YT)이나 무인이송장비(Automated Guided Vehicle, AGV)가 주로 사용되고 있는데, 최근에 와서는 자체하역기능을 수행할 수 있는 셔틀 캐리어(Shuttle carrier, SHC) 이송장비들의 도입이 고려되고 있다.

셔틀 캐리어는 기존의 YT나 AGV와 달리 컨테이너를 자체적으로 싣고 내릴수 있는 하역기능을 갖추고 있어 이송작업의 수행시에 안벽과 야드작업영역에서 C/C와 T/C의 작업에 의존도가 매우 낮아 작업자원력이 높다는 장점을 가지고 있다. 이것은 터미널의 하역생산성이 단일장비에 의한 단순작업에서 얻어지는 생산성이 아니라 여러 장비가 연계작업을 수행하여 얻어지는 결합생산성 측면이 강하기 때문에 이송장비의 작업효율성 증대로 터미널의 하역생산성을 높일 수 있다는 측면이 있다.

이에, 본 연구에서는 기존의 이송시스템에 자체 하역기능을 탑재한 셔틀캐리어 도입에 따른 터미널의 이송능력을 분석해 보았다.

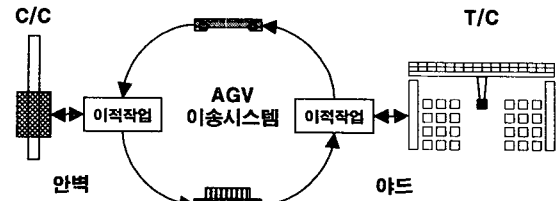
2. 터미널 이송 장비

2.1 YT/AGV 이송장비

YT나 AGV 이송장비는 자체 하역기능이 없기 때문에 안벽과 야드작업에서 C/C와 T/C의 하역작업에 전적으로 의존해 컨테이너를 양하 또는 적하 받게 되며, 하역시스템 구성도는 <그림 1>과 같다.

<그림 1>에서 YT/AGV 이송시스템에서는 안벽과 야드영역에서 이송장비는 C/C나 T/C와 동시에 작업이 이루어지는 컨테이너 이적작업구조를 가진

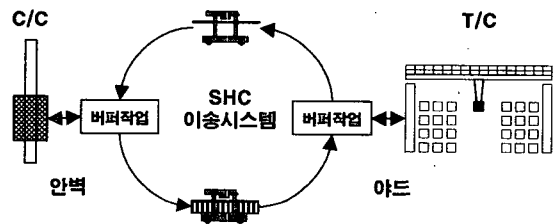
다. 따라서, 각 장비의 작업사이클이 다른 경우 장비간의 대기현상으로 작업지연이 발생하기 때문에, 안벽과 야드장비의 생산성이 저하되지 않도록 충분한 이송장비의 지원력이 요구됨을 알 수 있다.



<그림 1> AGV 이송시스템 구성도

2.2 Shuttle Carrier 이송장비

SHC는 YT나 AGV의 운반기능외에 추가로 컨테이너를 집거나 내려놓을 수 있는 하역기능을 가지고 있기 때문에, C/C와 T/C의 작업에 의존하지 않고 자체적으로 이송작업을 수행할 수 있다. SHC로 구성된 하역시스템은 <그림 2>와 같다.



<그림 2> SHC 이송시스템 구성도

<그림 2>에서 SHC 이송시스템은 안벽과 야드의 작업지점에서 C/C나 T/C의 도움에 의존하지 않고 독립적으로 하역을 할 수 있는 버퍼작업구조를 가진다. 따라서, 각 영역의 장비들도 장비간의 작업대기현상이 매우 낮아지게 된다.

2.3 장비 특성 분석

YT/AGV와 SHC에 대한 이송장비의 기능과 특성을 비교하면 [표 1]과 같다.

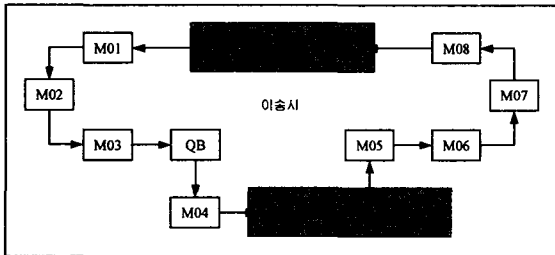
[표 1] 이송장비 기능 및 특성

	YT	AGV	SHC
하역기능	×	×	○
하역시간	C/C, T/C에 의존		17초
운행속도	20km/hr	360m/min	300m/min

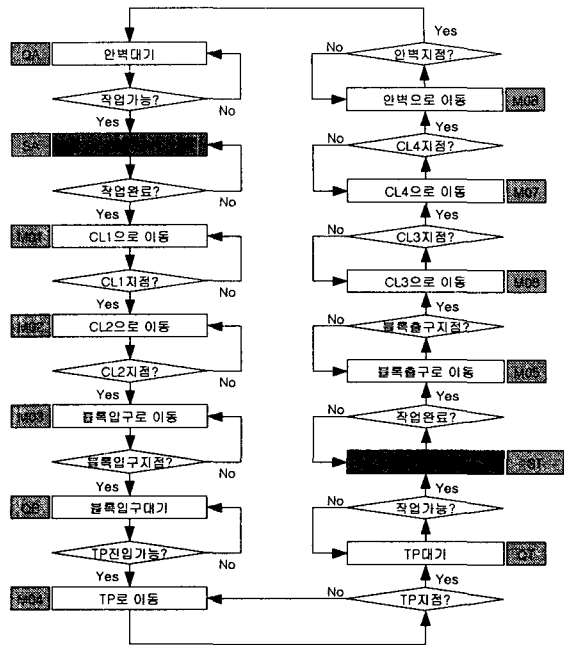
[표 3] SHC 이송장비 상태정의

상태	작업 내용
QA	안벽작업지점에서 대기중인 상태
SA	안벽작업지점에서 자가하역중인 상태
M01	안벽작업지점에서 CL1지점으로 주행중인 상태
M02	CL1지점에서 CL2지점으로 주행중인 상태
M03	안벽작업지점에서 블록입구지점으로 주행중인 상태
QB	블록입구지점에서 대기중인 상태
M04	블록입구지점에서 TP로 주행중인 상태
QT	블록 TP에서 대기중인 상태
ST	블록 TP에서 자가하역중인 상태
M05	블록 TP에서 블록출구지점으로 주행중인 상태
M06	블록출구지점에서 CL3지점으로 주행중인 상태
M07	CL3지점에서 CL4지점으로 주행중인 상태
M08	CL4지점에서 안벽작업지점으로 주행중인 상태

SHC 작업상태와 상태전이도를 토대로 SHC 시뮬레이션 모델을 수립하면 <그림 6>과 같다.



<그림 5> SHC의 상태전이도



<그림 6> SHC 시뮬레이션 모델

수립된 두가지 모델은 작업상태와 상태전이도에 서 매우 유사하나 자가하역기능에서 안벽과 야드 지점에서 대별된다.

이상의 시뮬레이션 모델을 통하여 두가지 유형의 이송장비에 대한 시뮬레이션 분석을 수행하여 이송능력을 비교분석해 보았다.

4. 시뮬레이션 분석

4.1 터미널 설정 및 시나리오 구성

시뮬레이션에 사용될 터미널을 설정내용은 [표 4]과 같으며, 총 12개의 시나리오를 분석 대상으로 하였다.

4.2 결과분석

대상 터미널에 대해 AGV와 SHC 이송장비 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

[표 4] 대상 터미널 설정

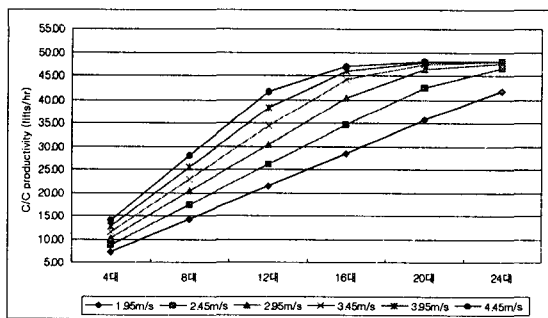
구분	설정	
레이아웃	블록 8개, 블록당 41베이, 수직배치형	
안벽	작업대수	1개 선석(400m)에 4대
	작업성능	최대 48.00(개/시간)
이송	주행속도	1.95 ~ 4.45m/sec
	운행방식	Closed loop
	할당방식	C/C당 1대 ~ 6대 고정할당
야드	주행속도	165m/min
	작업대수	8대, 선박양하작업 지원

(1) AGV 이송시스템 수행결과

[표 5]와 <그림 7>에서 AGV 이송시스템 구조에서는 안벽의 C/C 작업이 최대성능을 발휘하게 위해 총 24대의 AGV 운행대수가 필요하며 주행 속도에 있어서도 4.45m/s의 고속운행이 가능해야 하는 것으로 나타났다.

[표 5] AGV 이송시스템 적용시 C/C 생산성

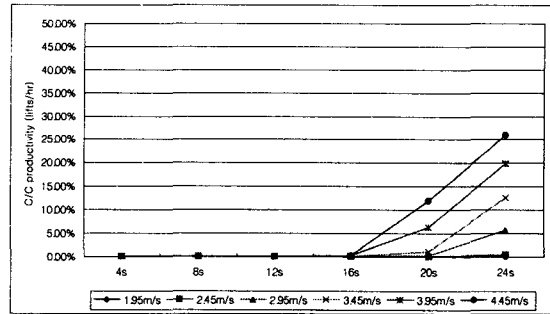
속도 \ 대수	4대	8대	12대	16대	20대	24대
1.95m/s	7.13	14.52	21.38	28.42	35.58	41.86
2.45m/s	8.67	17.34	26.01	34.57	42.49	46.51
2.95m/s	10.12	20.22	30.35	40.28	46.26	47.57
3.45m/s	11.47	22.94	34.41	44.12	47.41	47.96
3.95m/s	12.72	25.44	38.13	45.94	47.87	47.96
4.45m/s	13.94	27.88	41.50	47.01	47.95	48.00
평균	10.67	21.35	31.96	40.06	44.59	46.64



<그림 7> C/C⇔AGV 생산성 그래프

<그림 8>은 AGV의 C/C 대기시간을 AGV의 전체 운행시간에 대한 비율로 나타낸 것으로 16대 초과 운행시부터 AGV의 C/C 대기가 발생하기 시작하였으며, 운행속도가 증가할 수록 그 폭은 증가

하는 것으로 나타났다.



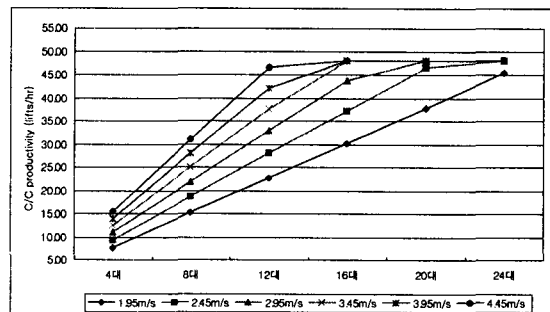
<그림 8> AGV의 C/C 대기율

(2) SHC 이송시스템 수행결과

[표 6]과 <그림 8>은 SHC 이송시스템 구조에서는 SHC의 운행속도별로 안벽의 C/C 작업이 최대성능을 발휘하기 위해 각각 24대(2.45m/s), 20대(2.95m/s), 16대(3.45m/s 이상)가 필요한 것으로 나타났으며, 이를 C/C 최대생산성(48.00개/시간)을 기준으로 하면 AGV에 비해 8대의 운행대수를 절감할 수 있다.

[표 6] SHC 이송시스템 수행결과

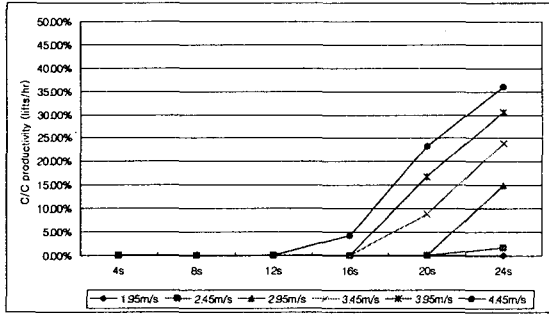
속도 \ 대수	4대	8대	12대	16대	20대	24대
1.95m/s	7.56	15.12	22.69	30.14	37.81	45.36
2.45m/s	9.29	18.58	27.87	37.04	46.46	48.00
2.95m/s	10.96	21.91	32.87	43.68	48.00	48.00
3.45m/s	12.53	25.05	37.59	48.00	48.00	48.00
3.95m/s	13.99	27.98	41.97	48.00	48.00	48.00
4.45m/s	15.47	30.92	46.39	48.00	48.00	48.00
평균	11.63	23.26	34.90	42.48	46.04	47.56



<그림 9> C/C⇔SHC 생산성 그래프

또한, SHC의 C/C 대기시간에 있어서도 <그림 8>과 <그림 10>를 비교하면, SHC가 동일한 운행

속도에서도 AGV에 비해 C/C 대기비율이 높은 결과를 보이고 있는데, 이 값이 높을수록 C/C가 이송장비를 대기하는 현상이 줄어들어 C/C의 생산성을 높일 수 있기 때문에 SHC의 이송능력이 동일한 운행대수에서도 AGV 보다 우수하다고 할 수 있다.



<그림 10> SHC의 C/C 대기율

이상의 두 가지 장비의 이송능력 비교해 볼때에 있어 SHC 이송시스템으로 구성된 하역시스템이 C/C의 생산성과 운행대수 측면에서 AGV 이송시스템보다 우수하며 안벽의 C/C가 최대생산성의 95%이상을 달성하기 위해 요구되는 각 이송장비의 운행대수를 정리한 결과는 [표 7]과 같다.

[표 7] SHC에 의한 운행대수 절감효과

속도 \ 대수	AGV	SHC	운행대수 절감효과
2.45m/s	24대	20대	16.67%
2.95m/s	20대	20대	-
3.45m/s	20대	16대	20.00%
3.95m/s	16대	16대	-
4.45m/s	16대	12대	25.00%
종합	평균 20.56%의 운행대수 절감		

[표 8] SHC에 의한 C/C 생산성 효과(%)

대수 \ 속도	4대	8대	12대	16대	20대	24대	평균
1.95m/s	6.12	6.11	6.14	6.05	6.28	8.37	6.51
2.45m/s	7.17	7.16	7.17	7.15	9.32	3.21	6.86
2.95m/s	8.28	8.33	8.28	8.45	3.76	0.91	6.34
3.45m/s	9.26	9.20	9.25	8.80	1.24	0.09	6.31
3.95m/s	9.98	9.95	10.08	4.49	0.27	0.08	5.81
4.45m/s	10.93	10.90	11.79	2.10	0.10	0.00	5.97
평균	8.62	8.61	8.97	6.17	3.50	2.11	6.30

[표 7]과 [표 8]에서 SHC는 기존의 AGV 이송장비보다 평균 20.56%의 운행대수를 절감하면서 안벽의 C/C 작업지원을 원활히 할 수 있으며, 전체적으로 동일한 운행대수에서도 평균 6.30%의 C/C 생산성 향상효과를 거둘 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 컨테이너 터미널에서 안벽과 야드간의 컨테이너 운반작업을 담당하는 이송장비의 운행능력을 분석해 보았다. 이송장비는 기존의 단순운반작업만 가능한 AGV와 자가하역기능을 갖춘 SHC를 분석 대상으로 하였으며, 두 가지 이송장의 작업능력을 비교하기 위해 각 장비에 대한 시뮬레이션 모델을 수립하고 운행대수와 운행속도에 따라 시뮬레이션을 수행하여 결과 비교 검토해 보았다. 수행결과를 자가하역기능을 갖춘 SHC가 C/C의 생산성 측면에서 동일한 운행대수에서 AGV보다 평균 6.30%향상효과가 있었으며, 동일한 C/C 생산성 수준에서 AGV보다 20.56%의 운행대수 절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

- [1] 하태영, 최용석, “시뮬레이션을 이용한 자동화 컨테이너터미널의 결합 생산성 분석”, 대한산업공학회/한국경영과학회 2004 춘계 학술대회, pp. SB4-21 ~ SB4-24, 2004.
- [2] 최용석, 김우선, 하태영, “컨테이너터미널의 야드 트랙터 소요대수 추정”, 한국항해항만학회지, 제28권, 제6호, 549-555, 2004.
- [3] 하태영, 최용석, 김우선, “시뮬레이션을 이용한 자동화 컨테이너터미널의 AGV 운영평가”, 한국항해항만학회지 제28권 제10호, pp. 891 ~ 897, 2004.
- [4] Evers, J.J.M., Koppers, S.A.J., "Automated guided vehicle traffic control at a container terminal, Transportation Research 30A, 21-34, 1996.
- [5] Kim, K.H., Kim, K.Y., Routing straddle carriers for the loading operation of container using a beam search algorithm, Computers and Industrial Engineering 36, 108-136, 1999c.
- [6] Etsuko Nishimura, Akio Imai, Stratos Papadimitriou, Yard trailer routing at a maritime container terminal, Transportation Research Part E 41, 53-76, 2005.