

시뮬레이션을 이용한 자동화 컨테이너 터미널의 AGV 운영평가

하태영* · 최용석** · 김우선***

*, **, *** 한국해양수산개발원, 해운물류항만연구센터

Simulation-based Evaluation of AGV Operation at Automated Container Terminal

Tae-Young Ha* · Yong-Seok Choi** · Woo-Sun Kim**

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

요 약 : 본 연구에서는 수직블록배치형태를 가지는 자동화 컨테이너 터미널을 대상으로 안벽과 야드의 연계작업을 수행하는 이송장비에 대한 시뮬레이션 모델을 수립하였다. 일반적으로 컨테이너 터미널은 안벽장비의 생산성으로 효율성이 평가되며, 안벽장비의 생산성을 최대화하기 위해서는 이송장비와 야드장비의 원활한 지원이 이루어져야 한다. 이중 이송장비는 안벽장비와 직접적으로 연계작업을 수행하므로 안벽장비의 생산성에 많은 영향을 미치는 요소이며, 운행대수와 주행방식에 따라 작업성능 또한 매우 달라지게 된다. 따라서, 본 연구에서는 이송장비의 작업생산성을 평가할 수 있는 시뮬레이션 모델을 개발하였으며, 수립된 모델을 통해 가상의 환경에서 다양한 이송장비의 운영에 따른 안벽장비의 생산성을 분석해 보았다.

핵심용어 : 자동화 컨테이너 터미널, 시뮬레이션 모델, 상태전이, 자동이송장비, Close loop, Cross lane

Abstract : This paper provided a simulation model for transport vehicles that carry container from the ship to yard block and vice versa at automated container terminal with a perpendicular yard layout. Usually, the efficiency of container terminal is evaluated by the productivity of container cranes at apron, and the stevedoring system for transport vehicles and yard cranes should be supported enough to improve productivity of container cranes. Especially, transport vehicle is very important factor in the productivity of container cranes and the performance of transport vehicles are changed according to the number and traveling type of vehicles. For these reason, a method that can estimate productivity of transport vehicle is required. Finally, we developed the simulation model to analyze the productivity of transport vehicle and presented the productivity of container cranes for a varying operation of transport vehicles.

Key words : automated container terminal, simulation model, AGV, state transition, close loop, cross lane

1. 서 론

일반적으로 컨테이너 터미널의 경쟁력이 향상되기 위해서는 하역시스템에 투입되는 장비의 작업생산성이 증대되어야 하며, 하역시스템의 효율성은 안벽장비의 작업생산성인 시간당 컨테이너 양적하 개수(lifts/hour)로 인식되고 있다. 이러한 이유로 기존의 컨테이너 터미널들은 안벽작업에 투입되는 컨테이너 크레인(Container Crane, C/C)의 작업생산성을 증가시키기 위하여 고성능의 장비 투입과 작업능률을 위한 효율적인 양적하 계획에 많은 시간과 비용을 투자하여 왔다. 그러나, 터미널의 하역시스템이 안벽작업과 이송 및 장치작업이 연계된 시스템이라는 측면에서 최근에 와서는 안벽장비의 생산성 향상에만 국한되지 않고 고성능 안벽장비의 하역작업을 원활하게 뒷받침 할 수 있도록 이와 연계작업을 수행하는 이송장비 및 야드장비의 생산성 제고에도 주력하고 있는 추세이다. 그 대표적인 것으로 고성능의 안벽장비의 하역작업에 부합하는 자동이송장비(Automated Guided Vehicle, AGV), 자동야드장

비(Automated Transfer Crane, ATC)로 구성된 자동화 컨테이너 터미널의 개발이며, 현재 운영중인 자동화 터미널로는 네덜란드의 ECT (European Combined Terminal, 1991)와 가장 최근에 개장한 독일의 CTA(Container Terminal Altenwerder, 2002)가 있다. 이들 두 항만은 모두 수직배치형태의 장치장 레이아웃과 C/C \leftrightarrow AGV \leftrightarrow ATC 장비로 구성된 하역시스템으로 설계 되어있으며 CTA의 경우 AGV의 주행경로 및 ATC의 투입대수면에서 운영 경험이 많은 ECT에 비해 한 단계 높은 하역시스템으로 평가받고 있다. 이들 터미널은 설계이전 단계에 하역시스템에 대한 다양한 기술 및 성능평가가 이루어졌으며, 이러한 검증 수단에는 시뮬레이션 기법이 매우 유용하게 인식되고 있다.

이러한 터미널의 하역시스템 평가를 위한 시뮬레이션 기술로는 독일 ISL(Institute of Shipping and Logistics)사의 SCUSY, 미국 JWD(Jordan Woodman Dobson)의 GMTS(General Marine Terminal Simulation), ECT의 CTS(Container Terminal Simulation) 등이 있으며, 특히

* 대표저자 : 하태영(정회원), haty@kmi.re.kr, 02)2105-2887
** 종신회원, drasto@kmi.re.kr, 02)2105-2886
*** 정 회원, firstkim@kmi.re.kr, 02)2105-2889

JWD에서는 부산신항만 북측 터미널과 감천터미널을 시물레이션 분석을 통하여 설계하였다. 이러한 시물레이터들은 내부에 성능분석을 위한 시물레이션 모델을 기본적으로 탑재하고 있는 것이 일반적이다. 국내에서도 컨테이너 터미널과 관련하여 다양한 시물레이션 연구가 수행되었는데, 장과 용(1998)은 자동화 컨테이너터미널의 구성과 운영방식을 소개하고 가상 터미널에 대한 시물레이션 모델을 제시하였고 또한 자동화 컨테이너터미널 시물레이터의 구상안을 제시하였다. 배 외(2000)는 수평배치의 장치장 형태의 터미널에서 버퍼 장치장의 장비 규모를 결정하기 위해 반응표면방법론을 적용한 시물레이션 연구를 수행하였다. 김 외(2001)의 자동화 컨테이너터미널의 레이아웃 평가방안에 대한 연구, 왕 외(2001)의 자동화 컨테이너터미널의 운용전략에 대한 연구, 장과 용(2001)의 자동화 컨테이너터미널의 안벽능력 분석을 위한 시물레이션 연구, 김 외(2002)의 자동화 컨테이너터미널의 장치장 운영 시물레이션 연구 등 자동화 컨테이너터미널의 시물레이션 모델을 개발하기 위한 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

AGV의 운용과 관련하여 수행된 연구로 민 외(2002)는 자동화 컨테이너 터미널을 대상으로 AGV 운영방식에 대해 이동경로 및 적정 운영대수를 산출하기 위한 시물레이터를 개발하였다. 이 외(2003)는 그리드 단위의 제어에 기반하여 효율적인 AGV 운영방안을 제시하였으나 이들 두 연구는 모두 Cross Lane 방식의 AGV 운영패턴을 기반으로 하여 연구가 수행되었기 때문에 다양한 AGV 운영방식에 따른 터미널의 생산성 향상측면의 분석에는 한계를 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 자동화 컨테이너 터미널의 이송장비에 대해 다양한 AGV의 운영방식을 적용하여 터미널 생산성을 분석할 수 있는 시물레이션 모델을 수립하고, 그 첫 단계로 Cross Lane과 Close loop 방식간의 비교분석이 수행되었다. 모델수립에서는 이송장비를 하나의 개체로 정의하고 작업과정에서 발생하는 작업상황을 개체의 속성으로 구분하여 작업 진행 과정에서 변화되는 개체의 상태를 기준으로 이송장비의 작업생산성을 분석하여 보았다.

2. 이송장비 운영

현재 자동화 터미널에서는 크게 Close loop와 Cross lane의 2가지 AGV의 운영방식이 적용되고 있다.

2.1 AGV 운행방식

Close loop 운행방식은 선석단위로 타원을 그리며 안벽과 블록의 TP간을 주행하는 방식으로 비교적 운행경로가 단순하며, C/C와 작업블록별로 전용 주행라인이 배정되게 된다. 이 방식은 기존의 수평배치 레이아웃의 터미널에서 YT의 운행방식과 유사한 형태로 AGV의 통제가 비교적 용이하며 차량간섭도 상당히 줄어드는 효과가 있다. AGV의 대기는 안벽에서는 C/C당 전용주행라인에, 육측에서는 블록별 전용주행라인에서 각각 대기하게 되며, 차선의 변경은 운행경로상의

Changeable Lane Area 구간에서만 가능한 운행방식이다.

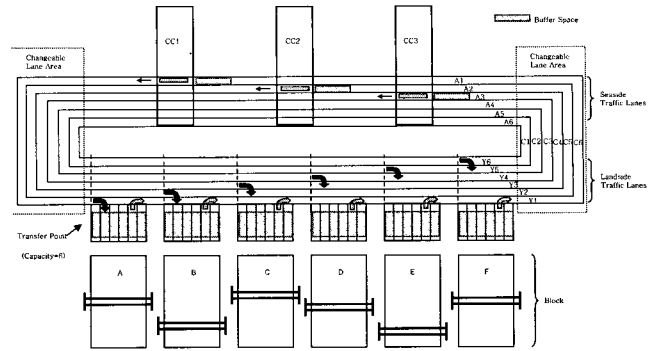


Fig. 1 Close loop operation of AGV

Cross lane 운행방식은 C/C와 작업블록단위로 타원을 그리며 운행되는 방식으로 운행경로가 복잡하나 이동거리가 단축되는 효과가 있다. AGV의 대기는 안벽에서는 Close loop와 동일하게 C/C당 전용주행라인에서 대기를 하지만, 육측에서는 블록별 진입직전의 parking area에서 대기를 하게 된다. 그러나, 안벽 작업 C/C가 많아질수록 운영논리가 상당히 복잡해지며, AGV의 직선 주행구간이 상당히 줄어드는 특징을 가지기 때문에 평균주행속도가 떨어지는 단점을 가지고 있다.

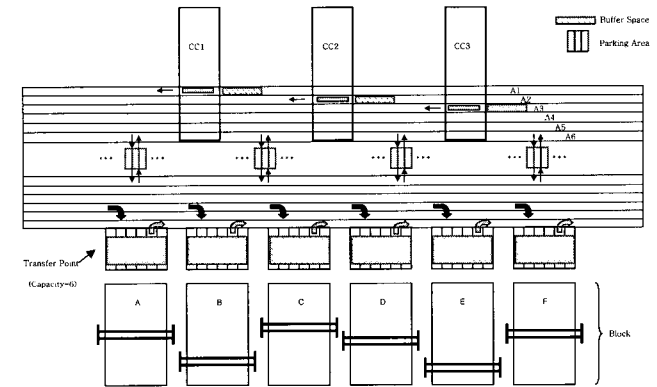


Fig. 2 Cross lane operation of AGV

2.2 하역작업

AGV는 본선 양적하 작업을 수행할 경우 C/C에 대해 조별로 편성되어 작업을 수행하며 운행과 관련한 작업흐름 과정은 안벽의 C/C와 블록의 작업지점을 순환하는 형태이다. AGV는 1cycle에서 1개의 양하 또는 적하 컨테이너를 처리하게 되며, AGV의 작업시작 지점은 양하의 경우 작업배정된 C/C의 대기 지점이며, 적하의 경우 작업블록의 TP지점이 된다.

3. 모델 설계

본 연구에서는 이송장비의 작업특성을 분석하기 위해 작업과정에서 나타나는 이송장비의 상태를 정의하고 상태전이과정을 통하여 작업흐름을 분석할 수 있는 시물레이션 모델을 설

계하였다. AGV는 양적하 작업과정에서 총 13개의 상태로 정의되며, 작업이 없는 유휴상태는 작업능력 분석에 영향이 없으므로 설계대상에서 제외되었다. 본 상태정의는 AGV의 2가지 운행방식인 Close loop와 Cross lane에 대해 동시에 적용이 가능한 모델이라 할 수 있다.

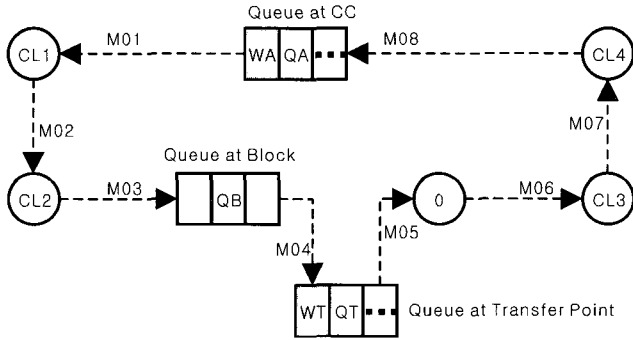


Fig. 3 Work flow of AGV by states transition

Table 1 States Definition of AGV

상태	내용
QA	C/C 작업지점에서 대기
WA	C/C 작업지점에서 작업
M01	C/C 작업지점에서 CL1으로 이동
M02	CL1지점에서 CL2지점으로 이동
M03	CL2지점에서 블록대기지점으로 이동
QB	블록대기지점에서 대기
M04	블록대기지점에서 TP로 이동
QT	TP에서 대기
WT	TP에서 작업
M05	TP에서 블록대기지점으로 이동
M06	블록대기지점에서 CL3로 이동
M07	CL3지점에서 CL4지점으로 이동
M08	CL4지점에서 C/C 작업지점으로 이동

AGV의 작업능력은 총 작업시간을 기준으로 각 상태에 소요된 시간으로 분석할 수 있으며, 특히 이동상태(M01~M08)에 소요된 시간으로 이동거리를 산출할 수 있으며 나머지 상태에 소요된 시간을 분석하여 AGV의 실제 작업생산성을 파악할 수 있다.

그러나, 이동상태를 포함한 나머지 상태의 값들은 연계작업을 수행하는 C/C와 ATC의 작업능력, 작업상황에 따라 유동적인 값을 가지므로, 본 연구에서는 연계장비인 C/C와 ATC에 대해 AGV와 연계작업에 요구되는 최소한의 시뮬레이션 모델을 추가로 설계하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

Table 2 States Definition of Container Crane

C/C 상태	내용
QA	C/C 작업지점에서 대기
WA	C/C 작업지점에서 작업
EL	QA, WA를 제외한 나머지 상태

Table 3 States Definition of Automated Transfer Crane

ATC 상태	내용
QT	TP에서 대기
WT	TP에서 작업
EL	QT, WT를 제외한 나머지 상태

4. 평가 함수

시뮬레이션 수행의 결과를 토대로 AGV의 작업능력을 결정하기 위해서는 평가기준이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 AGV의 작업능력을 산정하기 위한 평가함수를 다음과 같이 설정하였다.

N : C/C 투입대수

M : AGV 총 운행대수

i : C/C 인덱스($i = 1, 2, \dots, N$)

j : AGV 인덱스($j = 1, 2, \dots, M$)

cq_i : i 번째 C/C의 QA 시간

aq_j : j 번째 AGV의 QA 시간

Q_i : i 번째 C/C 작업에 투입된 AGV의 안벽 대기수

Qn_i : i 번째 C/C 작업에 투입된 AGV의 안벽 대기 횟수

Table 4 Estimation function for AGV work ability measurement

가중치	평가함수	평가 대상
w_1	$P_1 = \left(\sum_{i=1}^N cq_i \right) / N$	C/C
w_2	$P_2 = \left(\sum_{j=1}^M aq_j \right) / M$	AGV
w_3	$P_3 = \left(\sum_{i=1}^N Q_i \right) / Qn$	
w_4	$P_4 = M$	
작업능력	$P = [w_1 \cdot P_1 + w_2 \cdot P_2 + w_3 \cdot P_3 + w_4 \cdot P_4]$	
최적운영	$Minimize P$	
Priority	$w_i, i = 1, 2, \dots, 4$: 각 i 에 Big-M 적용	

AGV의 작업능력은 C/C의 안벽대기시간과 AGV의 안벽대기시간, AGV의 안벽대기 평균대수, 투입대수에 각각 평가가중치를 적용한 함수로 표현하였으며, AGV의 작업능력을 떨어뜨리는 벌점(Penalty) P 의 값이 가장 작을수록 작업능력이 뛰어나다고 할 수 있다. 또한, AGV 운행대수가 최소가 될 때 최적의 AGV 운영방안이라고 볼 수 있다. $\{cq_i, aq_j, Q_i, Qn_i\}$ 들은 시뮬레이션 수행에서 얻어지는 값들이며, $\{N, M\}$ 은 시뮬레이션의 입력값으로 총 $N \times M$ 번의 시뮬레이션을 수행하여 N 대의 C/C 운영시에 AGV의 작업능력과 적정운영대수를 산정할 수 있다. 평가 가중치 w_i 는 터미널 운영상황에 따라 평

가항목에 대해 우선순위를 고려할 필요가 있을 경우에 사용할 수 있으며, Big-M 기법을 사용하여 특정 평가항목에 절대적인 우선권을 부여할 수도 있다.

5. 이송장비 시물레이션

5.1 설정사항

시물레이션 수행에는 C/C, ATC, AGV 장비의 기계적 작업 능력치가 필요하며, 본 시물레이션에서 사용된 터미널 규모 및 장비의 제원은 다음과 같다.

Table 5 Terminal Configuration

구분	안벽	블록베이수	블록열수
설정값	350m	41 베이	10열
레이아웃	수직배치형, 총 6개 블록		

Table 6 C/C Specification

구분	설정값	적용값
트롤리 속도	210m/min	37.00(lifts/hour)
작업소요시간	2.0~5.0sec	

Table 7 ATC Specification

구분	설정값	적용값
트롤리 속도	150m/min	38.00(lifts/hour)
주행 속도	130m/min	
작업소요시간	2.0~5.0sec	

Table 8 AGV Specification

구분	설정값	적용값
최고속도	6.0m/sec	구간별적용 (2.0~5.0m/sec)
회전속도	2.0m/sec	

5.2 시물레이션 수행 방법

시물레이션 수행은 1개 선석을 기준으로 C/C 3~6대, C/C 당 AGV 운행대수 3~7대, ATC의 경우 블록당 1대로 하여 양적하 작업을 전담하도록 설정하였다. 양적하 작업과 관련한 블록 작업 할당은 6개 블록에 균등하게 할당하는 방법과 특정 블록을 선별하여 할당하는 2가지 방법이 있을 수 있으나, 후자의 경우는 장치장 하역능력을 떨어지게 하여 효과적인 분석이 되지 않으므로, 본 연구에서는 6개 블록에 균등하게 할당하는 방법을 사용하였다. 블록내 작업베이의 경우는 TP지점에서 블록 길이의 1/3이내의 위치에 있는 베이를 ATC의 작업 대상 베이로 하여 시물레이션을 수행하였다.

5.3 시물레이션 개발도구

본 연구에서는 이송장비의 작업능력을 효과적으로 분석하기 위하여 제시된 시물레이션 모델을 기준으로 전용 시물레이션 분석프로그램을 개발하였다. 개발언어로는 Visual Basic

6.0이 사용되었으며, C/C, ATC, AGV 장비를 각 개체로 설계하여 상호 연동가능한 양적하 작업 프로세스를 가지도록 하였다. 본 프로그램은 1초 단위의 정밀도로 시물레이션을 수행할 수 있도록 설계되었으며, 2D 애니메이션 기능도 구현되어 있어 검증의 용이성도 부여하였다.

본 시물레이터를 가지고 AGV의 2가지 운영방식에 대해 10일(864,000초)간 시물레이션을 수행하여 얻은 결과는 다음과 같다.

AGV의 작업능력은 Table 9와 Table 10에서 Cross lane 방식이 Close loop 방식에 비해 작업시간 동안 안벽대기비율(QA)과 TP대기비율(QT)이 높게 나타남을 알 수 있으며, 이것은 AGV가 C/C와 ATC의 연계작업을 원활히 지원하고 있음을 의미한다.

Table 9 A simulation result of AGV by close loop operation (%)

C/C	AGV	QA	WA	QB	QT	WT	M01-M08
3s	3s	0.20	8.07	0.00	5.04	21.78	64.91
	4s	1.57	13.83	0.00	7.58	20.83	56.19
	5s	8.82	16.88	0.01	8.26	18.35	47.68
	6s	19.97	16.14	0.03	7.70	15.84	40.32
	7s	30.56	14.19	0.05	7.02	13.52	34.66
4s	3s	0.26	7.58	0.01	10.24	22.74	59.17
	4s	1.44	10.69	0.10	15.40	21.60	50.77
	5s	4.27	12.46	0.27	19.27	19.90	43.83
	6s	9.17	13.04	0.88	21.02	17.84	38.05
5s	3s	0.27	6.79	0.08	16.18	22.82	53.85
	4s	1.05	8.29	0.76	23.72	21.13	45.05
	5s	2.30	8.92	2.35	28.90	19.04	38.49
	6s	3.61	8.85	5.11	32.03	17.09	33.31
	7s	4.90	8.48	8.50	33.51	15.36	29.25
6s	3s	0.26	5.99	0.50	22.99	22.42	47.84
	4s	0.80	6.68	2.49	30.85	19.87	39.31
	5s	1.36	6.53	6.50	35.40	17.34	32.87
	6s	2.09	6.53	10.73	36.69	15.47	28.49
7s	2.55	6.12	15.36	37.25	13.80	24.92	

Table 10 A simulation result of AGV by cross lane operation (%)

C/C	AGV	QA	WA	QB	QT	WT	M01-M08
3s	3s	0.48	13.53	0.00	7.79	25.24	52.96
	4s	6.05	18.38	0.00	9.40	22.30	43.87
	5s	17.63	18.62	0.04	8.93	18.71	36.07
	6s	29.92	16.49	0.02	7.56	15.71	30.30
	7s	38.93	14.26	0.03	7.13	13.64	26.01
4s	3s	0.55	10.97	0.03	14.62	26.07	47.76
	4s	3.26	13.55	0.28	20.03	23.41	39.47
	5s	7.64	14.42	0.96	22.83	20.74	33.41
	6s	13.74	14.08	1.56	23.52	18.33	28.77
5s	3s	0.48	8.72	0.34	22.86	25.50	42.10
	4s	1.78	9.81	1.28	29.84	22.65	34.64
	5s	3.16	9.73	4.04	34.26	19.75	29.09
	6s	4.83	9.61	6.86	35.91	17.64	25.15
	7s	6.16	9.03	10.64	36.57	15.69	21.91
6s	3s	0.38	6.97	0.98	30.02	24.29	37.36
	4s	1.09	7.31	3.91	36.78	20.81	30.10
	5s	1.76	7.10	8.71	39.42	17.95	25.06
	6s	2.38	6.73	14.07	39.68	15.72	21.42
7s	3.11	6.45	18.09	39.41	14.10	18.84	

Table 11 Savings effect in travel distance (%)

	AGV 3s	AGV 4s	AGV 5s	AGV 6s	AGV 7s
C/C 3s	30.89	33.84	35.93	36.36	36.38
C/C 4s	30.85	33.38	34.67	35.13	35.54
C/C 5s	32.49	33.51	34.72	34.67	35.26
C/C 6s	33.35	34.66	34.86	35.84	35.48

또한, Table 11에서 Cross lane 운행방식이 Close loop 운행 방식에 비해 평균 34.39%의 이송거리 단축효과가 있는 것으로 나타났으며, Close loop와 Cross lane 운행방식에 대해 본 연구에서 제시한 평가함수를 가지고 AGV의 작업 능력을 계산하면 Table 12와 같다.

Table 12 The performance estimation of AGV by close loop operation ($w_1 = 2, w_2 = 1, w_3 = w_4 = 0$)

C/C	AGV	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	C/C Prod.	평가치
3s	3s	19.66%	0.20%	0.0058885	9	28.64	39.52
	4s	7.35%	1.57%	0.062826	12	33.04	16.27
	5s	1.80%	8.82%	0.4412434	15	35.03	12.42
	6s	0.32%	19.97%	1.1979317	18	35.56	20.61
	7s	0.07%	30.56%	2.1389603	21	35.66	30.70
4s	3s	25.38%	0.26%	0.0077853	12	26.08	51.02
	4s	14.72%	1.44%	0.0574106	16	29.82	30.88
	5s	8.05%	4.27%	0.2135587	20	32.17	20.37
	6s	4.27%	9.17%	0.5501094	24	33.51	17.71
	7s	2.06%	15.12%	1.0586895	28	34.28	19.24
5s	3s	30.56%	0.27%	0.0080183	15	23.80	61.39
	4s	22.62%	1.05%	0.0421428	20	26.53	46.29
	5s	17.42%	2.30%	0.1148373	25	28.33	37.14
	6s	14.30%	3.61%	0.216806	30	29.41	32.21
	7s	12.23%	4.90%	0.3432299	35	30.13	29.36
6s	3s	35.90%	0.26%	0.0079234	18	21.55	72.06
	4s	29.77%	0.80%	0.0318567	24	23.62	60.34
	5s	26.66%	1.36%	0.0681101	30	24.68	54.68
	6s	23.76%	2.09%	0.1256788	36	25.66	49.61
	7s	22.23%	2.55%	0.1788291	41	26.18	47.01

Table 12와 Table 13는 C/C와 AGV의 안벽대기비율의 합이 최소가 되는 운영방안을 평가함수값으로 계산한 것으로, AGV의 작업능력에 있어 Cross lane 운행방식의 평가치가 우수한 것으로 나타났다. 또한, C/C의 생산성 기준으로 볼 때 AGV 운행대수 절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

Fig. 4~Fig. 7는 양적하 작업시 C/C 생산성을 나타낸 것으로 AGV의 운행대수가 증가할수록 C/C 생산성이 향상되나, AGV 투입대수 대비 C/C 생산성 향상도는 점차 낮아짐을 알 수 있다. C/C 3대의 경우 Close loop 방식에서는 C/C당 5대의 AGV를, Cross lane 방식에서는 C/C당 4대의 AGV를 운행하는 것이 C/C 생산성 측면에서 효율적이라 할 수 있다.

Table 13 The performance estimation of AGV by cross lane operation ($w_1 = 2, w_2 = 1, w_3 = w_4 = 0$)

C/C	AGV	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	C/C Prod.	평가치
3s	3s	12.54%	0.48%	0.0144448	9	31.18	25.56
	4s	3.51%	6.05%	0.2418573	12	34.42	13.07
	5s	0.75%	17.63%	0.8812527	15	35.41	19.13
	6s	0.11%	29.92%	1.7951011	18	35.64	30.14
	7s	0.01%	38.93%	2.7250829	21	35.67	38.95
4s	3s	19.15%	0.55%	0.0164792	12	28.26	38.85
	4s	11.00%	3.26%	0.1303302	16	31.12	25.26
	5s	5.92%	7.64%	0.3820938	20	32.92	19.48
	6s	2.98%	13.74%	0.8243715	24	33.96	19.70
	7s	1.07%	21.57%	1.5099036	28	34.63	23.71
5s	3s	26.59%	0.48%	0.0144951	15	25.16	53.66
	4s	19.64%	1.78%	0.0711785	20	27.56	41.06
	5s	15.79%	3.16%	0.1581706	25	28.89	34.74
	6s	12.67%	4.83%	0.290009	30	29.97	30.17
	7s	11.15%	6.16%	0.4312912	35	30.49	28.46
6s	3s	33.05%	0.38%	0.0114213	18	22.51	66.48
	4s	28.21%	1.09%	0.0436011	24	24.15	57.51
	5s	25.30%	1.76%	0.087783	30	25.14	52.36
	6s	23.43%	2.38%	0.1429454	36	25.78	49.24
	7s	21.40%	3.11%	0.2176086	41	26.45	45.91

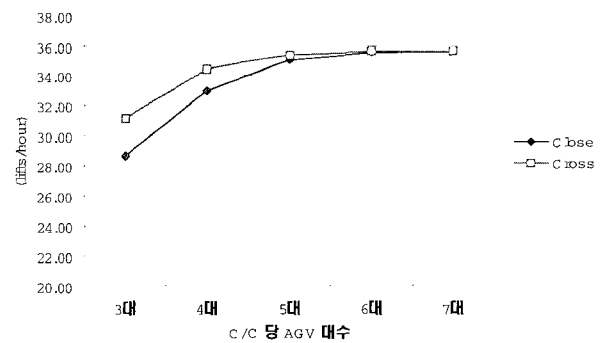


Fig. 4 C/C productivity by AGV operation (C/C 3s)

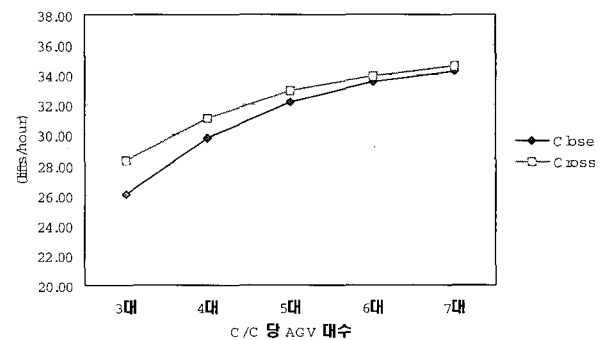


Fig. 5 C/C productivity by AGV operation (C/C 4s)

시뮬레이션을 이용한 자동화 컨테이너 터미널의 AGV 운영평가

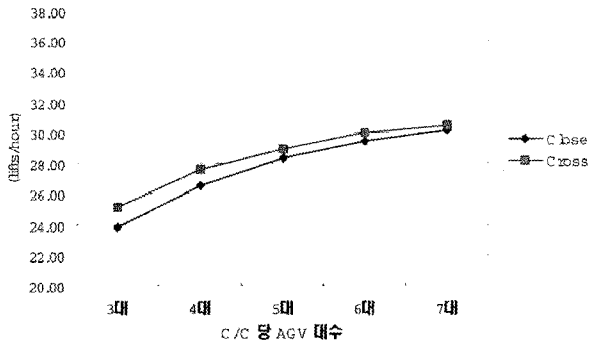


Fig. 6 C/C productivity by AGV operation (C/C 5s)

Fig. 8은 AGV의 2가지 운행방식에서 대해 C/C의 생산성 차이를 나타낸 것으로, Cross lane 운행시 Close loop 방식에 비해 최대 8.8%(C/C3대)의 높은 C/C 생산성을 가졌다.

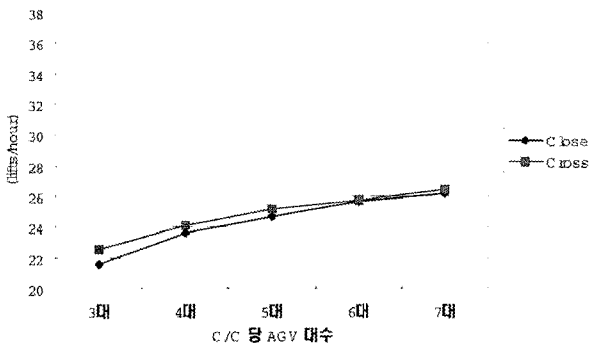


Fig. 7 C/C productivity by AGV operation (C/C 6s)

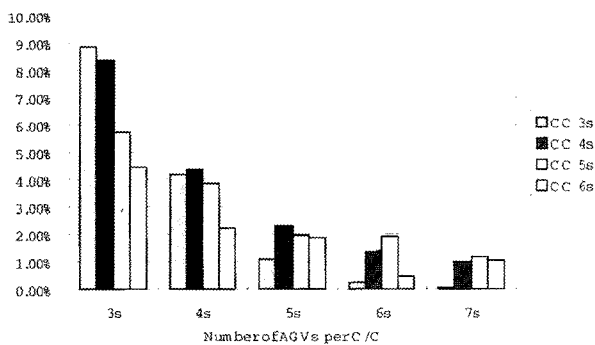


Fig. 8 Comparison in difference of C/C productivity between close loop and cross lane

한편, 시뮬레이션 수행에서 ATC의 작업생산성은 시간당 24.82개로 측정되었으며, Fig. 9, 10에서 AGV의 2가지 운영방식에 대해 C/C 대수의 증가함에 따라 생산성 향상의 둔화현상을 보여주고 있다.

이것은, 투입된 C/C의 대수에 비해 ATC의 작업대수가 상대적으로 작기 때문에 2가지 운영방식의 차이점이 줄어든 것

으로 파악된다. 따라서, ATC의 작업대수가 C/C의 투입대수에 비해 상대적으로 많은 경우인 C/C 3s의 경우가 AGV의 2가지 운영방식의 차이점을 가장 잘 표현한 것이라 할 수 있겠다.

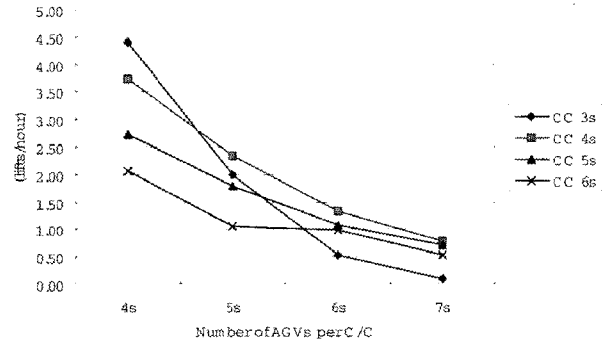


Fig. 9 Decline of C/C productivity under close loop operation

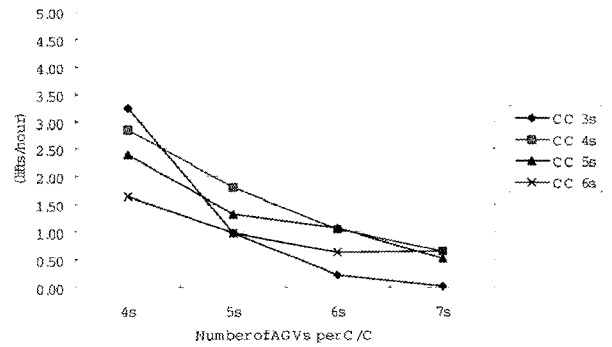


Fig. 10 Decline of C/C productivity under cross lane operation

이상의 내용을 토대로 하여 본 연구에서는 다음과 같은 자동화 컨테이너 터미널의 AGV에 대한 2가지 운영방식에 따른 운영대수관계도를 C/C의 생산성 측면에서 작성해 보았다.

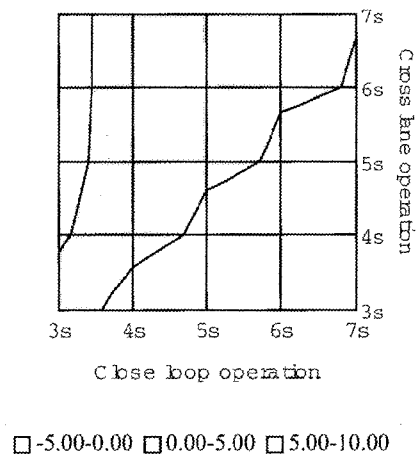


Fig. 11 Contour of feasible region between close loop and cross lane operation

Fig. 11은 3대의 C/C 작업시에 AGV의 2가지 운영방식에 대한 대수관계도로 Cross lane 운영방식을 사용함으로써 동일한 C/C 생산성에 요구되는 AGV 투입대수를 Close loop에 비해 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

6. 결 론

이상의 시뮬레이션 분석에서는 자동화 컨테이너 터미널의 이송장비인 AGV에 대하여 작업능력을 산정할 수 있는 시뮬레이션 모델과 이를 적절히 평가할 수 있는 평가모델을 제시하였다. 또한, 제시된 모델을 토대로 분석도구를 개발하였으며 시뮬레이션 분석을 통하여 AGV의 작업능력을 산정하였다. 시뮬레이션 결과에서 C/C생산성 측면에서는 Close loop 방식에 비해 Cross lane 방식이 최고 8.87%(C/C 3대) 향상효과가 더 있는 것으로 나타났으며, AGV 투입대수가 많아질수록 그 효과는 체감하는 결과를 보였다. AGV의 자체성능에 있어서는 Cross lane 운행방식이 Close loop 운행방식에 비해 평균적으로 34.39%의 이송거리 절감효과가 있음을 알 수 있었다.

본 연구의 결과를 토대로 할 때 AGV의 최적운영방안은 AGV 장비성능 및 운행대수에 따른 작업능력이라는 측면보다는 안벽의 C/C와 야드의 ATC간의 연계 작업상황에 요구되는 적절한 이송능력을 가지는 것이 효율적이라고 판단되며, 본 연구에서 제시된 이송장비 시뮬레이션 모델은 수평배치의 YT뿐만 아니라 자가 하역 기능을 갖춘 SC(Shuttle Carrier)나 ALV(Automated Lift Vehicle)와 같은 이송장비에 대해서도 동일하게 적용할 수 있다.

차후 연구과제로는 기존의 C/C당 AGV의 조별작업에서 전환하여, pooling 방식을 적용한 AGV의 작업능력을 평가하는 것이 필요하며 이송장비의 작업을 pooling 방식으로 전환할 경우에 동일한 대수를 투입하더라도 C/C 생산성 및 AGV의 작업능력은 더 향상될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 민상규, 정귀훈, 하승진, 김형식, 변성태, 이영석(2002), “첨단 자동화 컨테이너 터미널의 AGV 이동경로 평가 및 적정 운영 대수 산정을 위한 시뮬레이터 개발”, 대한산업공학회/한국경영과학회 2002 춘계공동학술대회.
- [2] 양창호, 최용석, 하태영(2003), “자동화 컨테이너터미널의 이송장비 시뮬레이션 모델”, 한국경영과학회/대한산업공학회 2003 춘계공동학술대회, pp. 1165~1170.
- [3] 이용환, 박은경, 박태진, 류광필, 김갑환(2003), “그리드 단위의 제어에 기반한 자동화 터미널의 AGV 운영 방안”, 한국항해항만학회 제27권 제2호, pp. 223~231.
- [4] 장성용, 용운중(2001), “시뮬레이션기법을 이용한 자동화 컨테이너터미널의 운용전략에 관한 연구”, 한국시뮬레이션학회 학술대회논문집.
- [5] 최용석, 김우선, 하태영(2004), “컨테이너터미널의 야드 트랙터 소요대수 추정”, 한국항해항만학회지 제28권 제6호, pp. 549~555
- [6] Chang Ho Yang, Yong Seok Choi, Tae Young Ha(2004), “Simulation-based performance evaluation of transport vehicles at automated container terminals”, OR Spectrum Volume 26 Issue 2, pp. 149-170.

원고접수일 : 2004년 9월 8일

원고채택일 : 2004년 11월 16일