

# 이송장비의 Pooling 운행방식에 따른 터미널하역생산성 효과

하태영\* · 신재영\*\* · 최용석\*\*\*

\*, \*\*\*한국해양수산개발원 해운물류항만연구센터, \*\*한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

## A study on the productivity effects of transport vehicle by pooling system at container terminals

Tae-Young Ha\* · Jae-Yeong Shin\*\* · Yong-Seok Choi\*\*\*

\*, \*\*\*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 연구에서는 이송장비의 조별운행방식과 Pooling 운행방식에 따른 컨테이너 터미널의 하역시스템 생산성을 비교분석하였다. 기존 컨테이너 터미널에서는 다수의 이송장비가 1개조로 구성되어 하나의 컨테이너 크레인(C/C)에 대해서만 양·적하작업을 지원하는 고정할당방식을 채택하고 있다. 이러한 할당방식은 하역작업시 혼선이 적고 차량이 일괄적 운행경로를 가지므로 지금까지 매우 광범위하게 적용되어 왔다. 그러나, 각기 다른 조에 편성된 이송장비간에는 상호지원을 하지 않기 때문에 이송장비의 작업용통성이 떨어진다고 볼 수 있다. 이에 비해 본 연구에서는 이송장비의 작업조를 편성하지 않고 투입된 모든 이송장비가 자유롭게 다수의 C/C에 대한 이송작업을 지원할 수 있는 4가지의 동적할당기법을 제시한다. 제시된 4가지의 동적할당은 차량할당시에 C/C의 순번(Se), 대기시간(Qt), 생산성(Pr), 차량할당수(Nv), 버퍼수(Nb)를 고려하는 것으로 연구결과에서 C/C의 현재대기시간, 할당수, 버퍼수를 동시에 고려한 동적할당방식이 가장 효율적이었고, 그 다음으로 할당순서에 기준한 방식이 우수한 결과를 보였다. 그러나, C/C의 현재생산성이나 대기시간만을 고려한 할당방식은 상대적으로 고정할당방식보다 낮은 효율성을 보이는 것으로 나타났다.

**핵심용어 :** 자동화 컨테이너 터미널, close loop, 고정할당전략, 동적할당전략, 자동이송장비

**ABSTRACT :** This paper deals with productivity improvement of stevedoring system by pooling operations of transport vehicle at automated container terminal. Usually, in traditional container terminals, grouping operations of transport vehicle are applied for container crane because vehicle routing path is simple and vehicle assignment is easy. But this static assignment(SA) operation that arrsign vehicles to container crane at apron reduces flexiblity of vehicles. Therefore, This paper presented 4 dynamic assignment(DA) mehtod to improve efficiency of vehicles. These 4 dynamic assignment method consider present situations of container crane such as sequence(Se), queue time(Qt), productivity(Pr), numeric of vehicle assignment(Nv), numeric of buffer(Nb) at vehicles assignment. At the results, dynamic assignment operation to consider Qt, Nv, Nb is most efficient and by next time, dynamic assignment operation to consider Se is superior more than static assignment operation. but, dynamic assignment operation to consider Pr or Qt of container crane only is inefficient than static assignment operation.

**KEY WORDS :** automated container terminal, close loop, static assignment strategy, dynamic assignment strategy, AGV

### 1. 서 론

컨테이너 터미널의 하역시스템은 안벽에서 선박 하역작업을 담당하는 안벽장비(Container Crane, C/C), 장치장에서 컨테이너 하역작업을 담당하는 야드장비(Transfer Crane, T/C), 터미

널 내부에서 컨테이너 운반을 담당하는 이송장비(Yard Truck, Y/T)로 크게 구성되어 있다.

하역시스템을 구성하는 이들 장비는 각각 상호 연계작업을 수행하는 작업형태로 안벽장비의 경우 이송장비의 지원하에 선박의 하역작업을 수행하며 이송장비 또한 야드장비의 작업지원

\* 대표저자 : 하태영(정회원), haty@kmi.re.kr, 02)2105-2887

\*\* 정 회원, shinjy@hhu.ac.kr, 051)410-4335

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

을 받아 컨테이너 운반작업을 수행한다.

이러한 연계작업관계에서 안벽장비와 이송장비의 경우 대부분의 컨테이너 터미널에서는 이송장비의 고정할당방식(Static Assignment Method, SA)을 채택하고 있다. 이것은 안벽장비 각각에 대해 다수의 이송장비가 한개의 조별로 구성되어 작업 지원을 전담하는 방식으로 이송장비는 하나의 안벽장비에 대해서만 지원작업을 하게 되어, 이송장비의 안벽장비지원에 대한 융통성이 떨어지다는 단점을 가지고 있다.

이러한 단점을 보완하기 위한 이송장비의 할당방식으로 동적 할당방식(Dynamic Assignment Method, DA)을 들 수 있다. Pooling 운행은 이송장비의 작업조를 편성하지 않는 방식으로 작업에 투입된 모든 이송장비는 자유롭게 다수의 C/C에 대한 이송작업을 지원할 수 있다. 특히, 선박의 양·적하작업상황에 따라 이송장비를 최적으로 할당할 수 있기 때문에 안벽지원에 대한 이송장비의 과부족 및 지원능력을 효과적으로 조절할 수 있다는 장점을 가지는 것으로 인식되고 있다. 이에 본 연구에서는 이송장비의 조별할당방식과 동적할당방식에 대한 비교분석을 해보았다.

## 2. 대상 터미널 이송장비 운영

### 2.1 대상 터미널 하역시스템

본 연구에서는 터미널 이송장비와 외부트럭의 동선체계가 분리된 자동화 터미널을 대상으로 하였다. 자동화 터미널은 안벽측에 수직방향으로 블록이 배치되어 있으며 안벽과 장치장간은 무인 이송장비인 AGV가 선석단위로 타원을 그리며 운행하는 Close loop 방식으로 설계되어 있다.

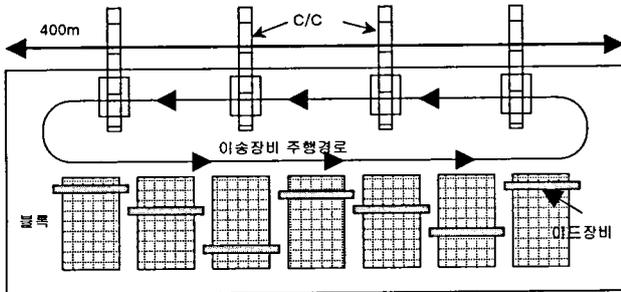


Fig. 1 Stevedoring system of target container terminal

### 2.2 AGV 운행방식

이송장비인 AGV의 Close loop 운행방식은 선석단위로 타원을 그리며 주행하는 형태로 안벽과 블록의 TP간에 1회 운행시 1개의 컨테이너 운반작업을 하게 되며 작업시 운행경로상의 Changeable Lane Area(CLA)에서 차선의 변경이 이루어진다.

AGV 운행시의 작업 내용을 도식화 하면 Fig. 2과 같다.

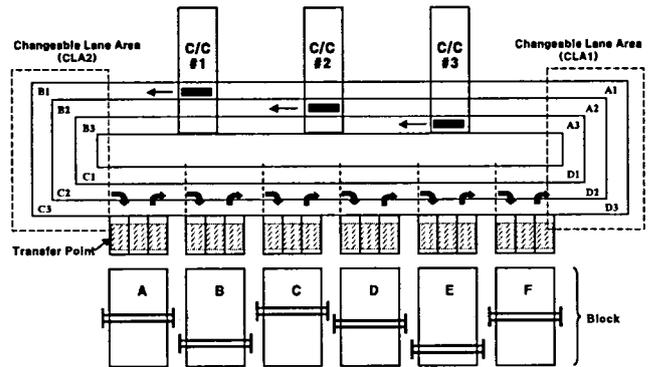


Fig. 2 Close loop operation of AGV

### 2.3 AGV 할당방식

AGV의 할당방식은 고정할당의 경우 사전에 지원작업을 해야될 C/C가 결정되어 있으므로 매번 정해진 C/C에 대해 작업 할당이 이루어진다.

따라서, 안벽으로 주행하는 시점에 Changeable Lane Area에서 자신이 속한 C/C의 전용주행레인으로 매번 차선을 변경하는 과정을 되풀이 하게 된다.

고정할당 상황에서 C/C와 AGV간의 작업개념도와 운행경로를 도식화 하면 Table 1, Fig. 3와 같다.

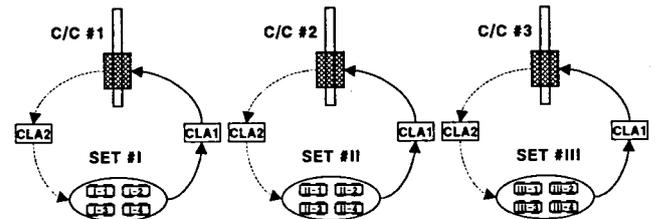


Fig. 3 Concept of static assignment method for AGV

Table 1 Patterns of routing path by static assignment

	Patterns of routing path(1 cycle)
Case 1	A1 → C/C #1 → B1 → CLA → C1 → BK → D1 → CLA → A1
Case 2	A2 → C/C #2 → B2 → CLA → C2 → BK → D2 → CLA → A2
Case 3	A3 → C/C #3 → B3 → CLA → C3 → BK → D3 → CLA → A3
Number of Case: No. of C/C	

동적할당방식의 경우에는 Clangelable Lane Area에서 특정한 할당규칙에 따라 지원작업을 해야할 C/C가 매번 달라지게 된다. 또한, 할당과 동시에 차선의 변경 유무가 결정된다.

동적할당 상황에서 C/C와 AGV간의 작업개념도와 운행경로를 도식화 하면 Table 2, Fig. 4과 같다.

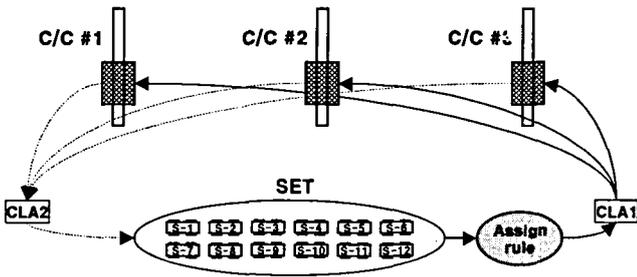


Fig. 4 Concept of dynamic assignment method for AGV

Table 2 Patterns of routing path by dynamic assignment

	Patterns of routing path(1 cycle)
Case 1	A1→C/C #1→B1→CLA2→C1→BK→D1→CLA1→A2
Case 2	A1→C/C #1→B1→CLA2→C1→BK→D1→CLA1→A3
Case 3	A2→C/C #2→B2→CLA2→C2→BK→D2→CLA1→A1
Case 4	A2→C/C #2→B2→CLA2→C2→BK→D2→CLA1→A3
Case 5	A3→C/C #3→B3→CLA2→C3→BK→D3→CLA1→A1
Case 6	A3→C/C #3→B3→CLA2→C3→BK→D3→CLA1→A2
Number of case: $n_C \times 2$ , (n: No. of C/C)	

고정할당방식에 비해 동적할당방식은 이송장비의 운행패턴 유형이 C/C의 대수에 비례하여 많아짐을 알 수 있다. 이것은 동일한 대수의 C/C가 작업을 할 경우 동적할당방식을 적용하면 매우 다양한 운행이 가능하기 때문에, 이송장비의 작업능력을 향상시킬 수 있을 가능성이 높아질 수 있다고 볼 수 있다.

### 3. 수리적 분석

#### 3.1 C/C 작업사이클

이송장비가 C/C의 작업지원을 원활히 하기 위해서는 C/C의 사이클 타임에 준하는 이송 사이클 타임을 가져야 한다. 우선, 싱글형 C/C의 작업사이클을 계산하면 다음과 같다.

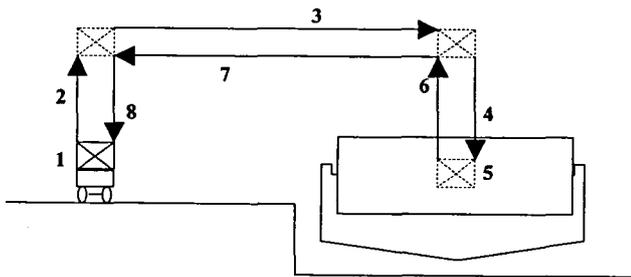


Fig. 5 Cycle path of single trolley

Table 3 Productivity and cycle time of C/C

	Loaded	Unloaded
Hoist	240m/sec	240m/sec
Trolley	90m/min	180m/min
Path	1→2→3→4→5→6→7→8	
Productivity	48.00lifts/hr	Cycle Time 75sec

Table 3에서 C/C는 시간당 기계적 성능을 기준으로 할 때 1회 사이클 타임은 75초가 되며, 시간당 48개의 컨테이너를 하역할 수 있다.

#### 3.2 AGV 작업사이클

C/C의 지원작업을 하는 이송장비의 1회 사이클 타임은 대수가 증가할수록 단축되어진다. 대상 터미널에서 이송장비는 안벽길이 400m에 Close loop 형식으로 운행할 경우 다음과 같은 운행과정과 작업 사이클을 가지게 된다.

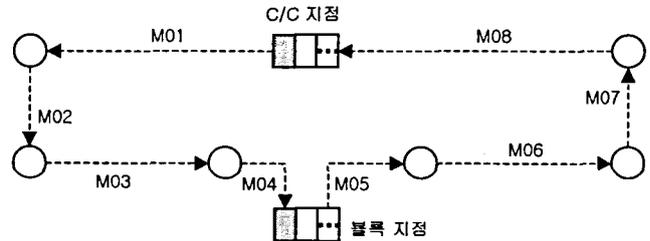


Fig. 6 Cycle path of AGV

Table 4 Travel distance and cycle time of AGV (m)

	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08
Dis.	200	100	200	40	40	200	100	200
Speed	6m/s	2m/s	6m/s	2m/s	2m/s	6m/s	2m/s	6m/s
Total	≒1,080m, Avg speed=3.95m/s							
Productivity	13.16lifts/hr		Cycle Time		273.41sec			

Table 4는 이송장비의 운행거리에 대한 사이클 타임을 계산한 것으로 운행대수 및 하역시간을 포함한 실제적인 이송장비의 작업 사이클을 구하면 다음과 같이된다.

Table 5 Cycle Time of AGV include load and unload time

	1s	2s	3s	4s	5s	6s
load/unload	load time: 20sec, unload time: 40.61/sec					
Cycle Time	334.02	167.01	111.34	83.51	66.80	55.67

Table 5는 AGV의 운행대수에 따른 작업 사이클 타임으로, Table 3의 C/C 작업 사이클 타임과 비교해 볼 때, 고정할당시에도 C/C당 5대 이상의 AGV가 작업을 지원할 경우에만 이론상 C/C는 시간당 48.00개의 컨테이너를 처리할 수 있게 됨을 의미한다. 따라서, 5대 미만인 경우에는 C/C당 고정배치된 AGV 운행능력의 여유가 없으므로 동적할당의 효과는 낮을 것으로 예상된다. 이것은 고정할당시 각 C/C에 배정된 AGV의 운행능력에 여유가 있을 경우에 동적할당의 효과가 발생할 수 있다고 판단되기 때문이다.

#### 3.3 AGV 동적할당전략

AGV의 2가지 할당방식중 동적할당에 있어서는 여러 가지

유형을 고려해 볼 수 있다. 본 연구에서는 차량할당기준으로 C/C의 순서(Se), 현재대기시간(Qt), 차량할당수(Nv), 차량버퍼 수(Nb), 생산성을 고려한 동적할당을 다음과 같은 4가지 전략으로 구성하였다.

Table 6 Dynamic assignment strategy of vehicle for C/C

	내용
DA-S	CLA1 시점에서 작업 C/C에 대해 순차적으로 균등하게 AGV 할당(consider Se)
DA-QNN	CLA1 시점에서 C/C 현재대기시간, AGV 할당대수, AGV 버퍼대기수를 고려하여 AGV 할당(consider Qt, Nv, Nb)
DA-Q	CLA1 시점에서 현재 이송장비대기시간이 가장 큰 C/C에 AGV 할당(consider Qt)
DA-P	CLA1 시점에서 C/C의 현재 C/C생산성이 가장 낮은 C/C에 AGV 할당(consider Pr)

이상의 4가지 동적할당전략에 대한 시뮬레이션 분석을 수행하고 결과를 토대로 고정할당전략과 비교분석하였다.

#### 4. 시뮬레이션 분석

##### 4.1 터미널 설정 및 시나리오 구성

시뮬레이션에 사용될 터미널을 설정내용은 Table 6과 같다.

Table 7 Terminal Configuration for simulation

구분	설정		
레이아웃	8개 블록, 블록당 41베이, 9열 5단		
안벽장비	작업대수	1개 선석(400m)에 4대	
이송장비	주행속도	3.95m/sec	작업방식 close loop
야드장비	주행속도	165m/min	
	작업대수	14대, 블록당 2대 배치	
시나리오	고정할당	C/C당 1대-6대 고정할당	
	동적할당	4대의 C/C에 4대-24대 동적할당	

##### 4.2 결과분석

대상 터미널을 시뮬레이션한 결과를 분석하면 다음과 같다.

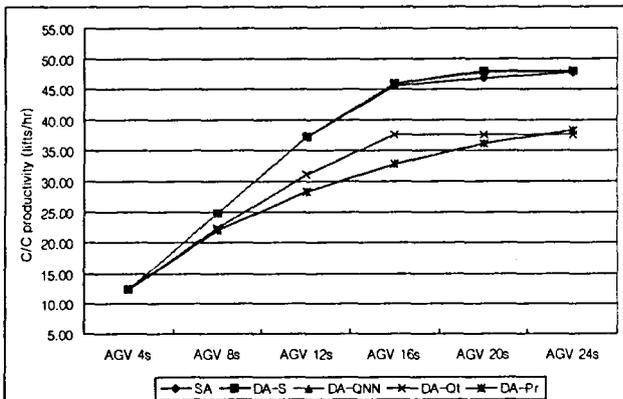


Fig. 7 C/C productivity graph by assignment strategy of AGV

우선, 고정할당전략시에 적용되는 AGV 운행대수를 기준으로 살펴보면, Fig. 7과 Table 7~11에서 할당전략 SA, DA-S, DA-QNN은 모두 AGV 20대 배치시에 C/C의 이송장비대기시간이 1% 이하로 나타났으며, DA-Q, DA-P의 경우에는 AGV 24대 배치시에 20%이상의 높은 C/C의 이송장비대기율을 보였다. 따라서, AGV 할당시점에 C/C의 이송장비대기시간이나 생산성중 한가지 기준만 토대로 동적할당을 하는 것은 비효율적이라는 것을 알 수 있다.

Table 8 Simulation results by SA for AGV

	C/C		AGV		
	Q-Rate (%)	Productivity (lifts/hr)	Q-Time (%)	Cycle Time (sec.)	Interval (sec.)
AGV 4s	74.13	12.42	0.00	288.88	288.88
AGV 8s	48.26	24.83	0.00	288.92	144.46
AGV 12s	22.45	37.22	0.00	289.15	96.38
AGV 16s	4.95	45.63	0.09	314.65	78.66
AGV 20s	2.12	46.98	4.63	382.14	76.43
AGV 24s	0.32	47.85	18.16	450.45	75.08

Table 9 Simulation results by DA-S for AGV

	C/C		AGV		
	Q(%)	Prod.(lifts/hr)	Q(%)	Cycle (sec.)	Interval(sec.)
AGV 4s	74.13	12.42	0.00	288.91	288.91
AGV 8s	48.26	24.83	0.00	288.94	144.47
AGV 12s	22.39	37.25	0.00	288.92	96.31
AGV 16s	4.08	46.04	0.00	311.76	77.94
AGV 20s	0.12	47.94	2.17	374.24	74.85
AGV 24s	0.00	48.00	13.38	448.59	74.77

Table 10 Simulation results by DA-QNN for AGV

	C/C		AGV		
	Q(%)	Prod.(lifts/hr)	Q(%)	Cycle (sec.)	Interval(sec.)
AGV 4s	74.13	12.42	0.00	288.90	288.90
AGV 8s	48.26	24.83	0.00	288.94	144.47
AGV 12s	22.50	37.20	0.00	289.32	96.44
AGV 16s	4.25	45.96	0.22	312.32	78.08
AGV 20s	0.24	47.88	4.06	374.91	74.98
AGV 24s	0.00	48.00	19.17	448.90	74.82

Table 11 Simulation results by DA-Qt for AGV

	C/C		AGV		
	Q(%)	Prod.(lifts/hr)	Q(%)	Cycle (sec.)	Interval(sec.)
AGV 4s	74.30	12.33	0.00	290.87	290.87
AGV 8s	53.39	22.37	2.33	320.91	160.45
AGV 12s	35.21	31.10	7.02	347.80	115.93
AGV 16s	21.87	37.50	14.25	382.83	95.71
AGV 20s	21.80	37.54	31.19	478.31	95.66
AGV 24s	21.69	37.59	42.71	573.09	95.51

Table 12 Simulation results by DA-Pr for AGV

	C/C		AGV		
	Q(%)	Prod.(lifts/hr)	Q(%)	Cycle (sec.)	Interval(sec.)
AGV 4s	74.19	12.39	0.00	289.56	289.56
AGV 8s	54.13	22.02	3.81	326.02	163.01
AGV 12s	41.09	28.28	13.85	381.07	127.02
AGV 16s	31.71	32.78	23.73	438.29	109.57
AGV 20s	24.82	36.09	32.05	497.83	99.57
AGV 24s	20.16	38.32	39.27	562.64	93.77

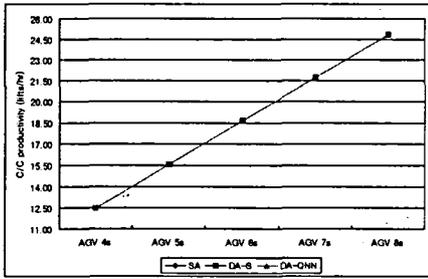


Fig. 8 C/C productivity of AGV 4s~8s

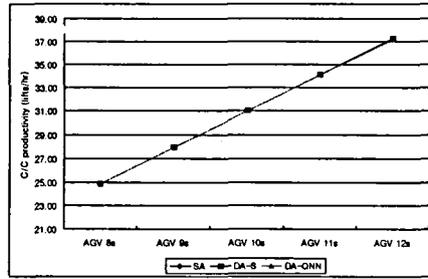


Fig. 9 C/C productivity of AGV 8s~12s

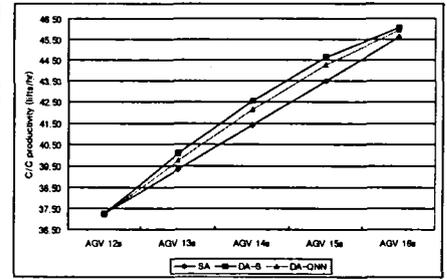


Fig. 10 C/C productivity of AGV 12s~16s

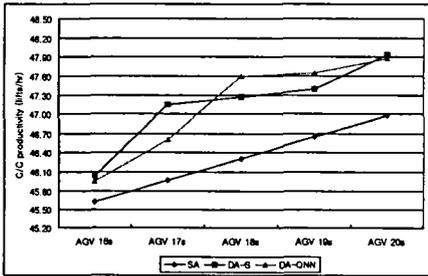


Fig. 11 C/C productivity of AGV 16s~20s

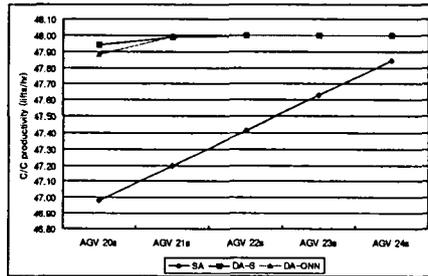


Fig. 12 C/C productivity of AGV 20s~24s

이송장비의 효율성이 우수한 3가지 할당전략인 SA, DA-S, DA-QNN을 AGV 운행대수별로 분석해 보면, Fig. 8~12는 할당전략 SA의 AGV 운행대수를 비례적으로 적용하여 DA-S와 DA-QNN를 비교하여 나타낸 것이다.

Fig. 8~12를 보면, 3가지 할당전략이 AGV 16대 이전까지는 거의 유사한 결과를 보이고 있음을 확인할 수 있다. 이것은 C/C당 AGV 4대 배치시까지의 앞절의 수리적인 분석에서 언급한 바와 같이 AGV의 싸이클 타임이 C/C의 싸이클 타임에 못미치므로 할당전략간의 차이점이 크게 발생하지 않음을 증명하고 있는 것으로 볼 수 있다.

이와 달리, AGV 운행대수가 16대를 초과하면서부터 할당전략간에 차이점이 발생하는 것을 Fig. 11, 12에서 확인할 수 있다. 이 시점에서부터 DA-S와 DA-QNN 할당전략은 17대에서 AGV 싸이클 타임이 각각 76.12초, 77.01초로 78.31을 가지는 SA보다 우수한 것으로 나타났다.

다음으로 이론상 AGV의 싸이클 타임이 C/C의 싸이클 타임보다 단축되는 시점인 AGV 20대를 보면, 고정할당인 SA의 경우는 AGV의 싸이클 타임이 76.43초로 C/C의 싸이클 타임에 못미치는 수준이나, 동적할당인 DA-S와 DA-QNN의 경우에는 AGV 20대 수준에서 이미 C/C 싸이클 타임보다 단축되는 것으로 나타났다.

마지막으로 최대 운행대수를 투입한 24대의 경우에는, 동적할당인 DA-S와 DA-QNN은 C/C 생산성의 최고치를 달성했으나 고정할당인 SA는 47.85(개/시간)로 최고치에 조금 못미치는 수준이었다.

따라서, C/C의 생산성이 최고치에 이르는 시점을 기준으로 할때, 동적할당(DA-S, DA-QNN)시 고정할당에 비해 C/C 생산성은 2.04%, 1.92% 높으며, 운행대수에서는 각각 4대를 절감

Table 13 Simulation results of DA-S for AGV (5s~23s)

	C/C		AGV		
	Q(%)	Prod.(lifts/hr)	Q(%)	Cycle (sec.)	Interval(sec.)
AGV 5s	67.66	15.52	0.00	288.91	231.12
AGV 6s	61.19	18.63	0.00	288.90	192.60
AGV 7s	54.73	21.73	0.00	288.91	165.09
AGV 9s	41.79	27.94	0.00	288.91	128.40
AGV 10s	35.33	31.04	0.00	288.94	115.57
AGV 11s	28.86	34.15	0.00	288.91	105.06
AGV 13s	16.48	40.09	0.00	290.85	89.49
AGV 14s	11.39	42.54	0.00	295.23	84.35
AGV 15s	6.95	44.66	0.00	301.26	80.34
AGV 17s	1.78	47.15	0.01	323.52	76.12
AGV 18s	1.52	47.27	0.06	341.71	75.93
AGV 19s	1.28	47.39	0.63	355.69	74.88
AGV 21s	0.02	47.99	7.84	392.76	74.81
AGV 22s	0.00	48.00	12.06	411.41	74.80
AGV 23s	0.00	48.00	12.94	430.06	74.79

Table 14 Simulation results of DA-QNN for AGV (5s~23s)

	C/C		AGV		
	Q(%)	Prod.(lifts/hr)	Q(%)	Cycle (sec.)	Interval(sec.)
AGV 5s	67.66	15.52	0.00	288.91	231.12
AGV 6s	61.19	18.63	0.00	288.90	192.60
AGV 7s	54.73	21.73	0.00	288.91	165.09
AGV 9s	41.79	27.94	0.00	288.91	128.40
AGV 10s	35.32	31.04	0.00	288.91	115.56
AGV 11s	28.88	34.14	0.00	289.00	105.09
AGV 13s	17.17	39.76	0.03	293.26	90.24
AGV 14s	12.20	42.14	0.05	297.97	85.13
AGV 15s	7.77	44.27	0.09	303.96	81.06
AGV 17s	2.91	46.60	0.39	327.30	77.01
AGV 18s	0.84	47.59	1.31	339.38	75.42
AGV 19s	0.74	47.65	1.76	357.89	75.35
AGV 21s	0.01	47.99	6.52	392.81	74.82
AGV 22s	0.00	48.00	11.91	411.51	74.82
AGV 23s	0.00	48.00	17.42	430.22	74.82

(16.7%) 할 수 있는 것으로 나타났다.

동적할당인 DA-S와 DA-QNN를 상호 비교하면, 두 할당전략간에 이송장비 운행대수 절감효과는 거의 없으며, C/C간의 생산성 균등화 측면에서는 Fig. 10, 11에서 보는바와 같이 DA-S가 DA-QNN보다 우수한 것으로 나타났다.

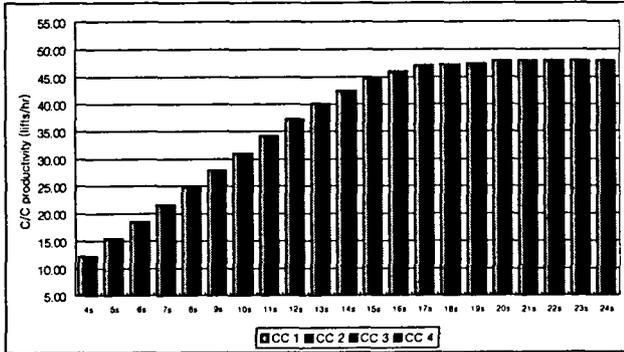


Fig. 13 C/C productivity graph by DA-S strategy

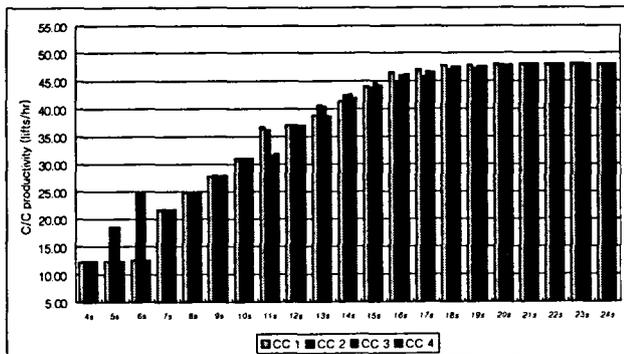


Fig. 14 C/C productivity graph by DA-QNN

## 5. 결 론

본 연구에서는 수직배치형 장치장 레이아웃으로 구성된 자동화 컨테이너 터미널을 대상으로 이송장비에 대한 고정할당 전략과 동적할당전략을 상호 비교분석하였으며 수리적인 분석과 시뮬레이션 분석의 2가지 측면에서 고찰되었다.

수리적인 분석에서는 C/C와 이송장비인 AGV의 작업사이클 타임을 비교하여 할당전략간의 차이가 발생하는 이송장비의 운행대수 범위를 추정해 보았으며, 이를 시뮬레이션 분석을 통하여 확인해 보았다.

시뮬레이션 분석에서는 4가지의 동적할당전략을 제시하였으며, 수행결과 C/C에 대해 순차적으로 AGV를 할당하는 DA-S 전략이 가장 우수하였으며, 다음으로 C/C 대기시간, 할당수 및 버퍼수를 고려한 DA-QNN 전략이 고정할당전략인 SA보다 운행대수 및 C/C 생산성 향상 측면에서 효율적인 것으로 나타났다.

차후 연구과제로는 이송장비의 운행방식에 Cross lane을 적용한 동적할당전략에 대한 분석이 필요할 것으로 본다.

## 참 고 문 헌

- [1] 양창호, 최용석, 하태영(2003), "자동화 컨테이너터미널의 이송장비 시뮬레이션 모델", 한국경영과학회/대한산업공학회 2003 춘계공동학술대회, pp. 1165~1170.
- [2] 하태영, 최용석, 김우선(2004), "시뮬레이션을 이용한 자동화 컨테이너터미널의 AGV 운영평가", 한국항해항만학회지 제28권 제10호, pp. 891~897.
- [3] 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.