

컨테이너터미널의 장치장 레이아웃 설계방법

최용석* · 하태영**

*한국해양수산개발원 책임연구원, **한국해양수산개발원 연구원

Design Methodology of Yard Layout in Port Container Terminal

Yong-Seok Choi* · Tae-Young Ha**

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

요 약 : 본 연구는 시뮬레이션을 활용하여 장치장의 레이아웃을 설계하고 레이아웃의 대안설계를 평가하기 위한 방법을 제시한다. 설계방법론은 장치장 레이아웃을 가진 재래식 컨테이너터미널의 개념들을 기초로 한다. 일반적으로 컨테이너터미널의 장치장 설계는 두가지 부분으로 구성되는데, 하나는 섹션수와 런수간의 장치장 면적을 분리하는 것이고, 다른 하나는 야드트럭과 야드크레인과 같은 장비의 수를 결정하는 것이다. 과거에는 이 설계가 매우 복잡한 문제이기 때문에 재래식 컨테이너터미널의 복제와 운영자의 경험에 의존했다. 본 논문에서는 개념설계로서 장치장 설계 방법을 제안하며, 시뮬레이션을 사용하여 컨테이너크레인의 효율과 장비의 최적대수를 추정한다. 실험결과로서 장치장 영역에서 섹션과 런의 수, 컨테이너 크레인당 야드트럭의 수, 런당 야드크레인의 수 등이 결정된다. 추가로 장치장 레이아웃에서 블록간의 통행량 흐름이 비율별로 추정된다.

핵심 용어 : 시뮬레이션, 장치장설계, 레이아웃, 통행량

ABSTRACT : This paper presents a method for designing layout on the yard and evaluating alternative designs of the layout by applying simulation. The design method is based on the concepts of the conventional port container terminal with yard layout. In general, yard design of the container terminal is consists of the two major parts. One is to divide yard area between the number of sections and the number of runs and the other is to decide the number of equipment that is the yard truck and yard crane. In the past days, this design was depended on the experience of the terminal operator and the reproduction of the conventional terminal layout because it is a very complex decision problem. In this paper, we suggest the method of yard design as a conceptual procedure and estimate the efficiency of the container crane and the optimal number of equipment using simulation. In the experiment results, the number of sections and runs on yard area, the number of yard truck per container crane and the number of yard crane per run are decided. In addition, the traffic flow among blocks on yard layout is estimated in terms of rate.

KEY WORDS : simulation, yard design, layout, traffic flow

1. 서 론

컨테이너터미널 개발은 항만의 기반시설 확충과 최신 하역설비의 도입 등을 포함하는 장기간의 대형사업으로써 개발의 투자위험을 감소시키기 위해서는 설계단계에서 경제성과 생산성을 감안한 터미널의 적정 규모가 판단되어야 한다. 터미널의 적

정 규모는 컨테이너물동량이 선박 또는 외부트럭을 통해서 대량 또는 소량으로 유입될 때 적정의 서비스 수준을 유지하면서 하역작업을 최적으로 수행할 수 있는 터미널 능력을 의미하고 있다. 이러한 터미널 능력과 직접적으로 관련된 시설물로는 선박 접안시설인 안벽, 컨테이너 적재장소인 장치장, 그리고 게이트 등이 있다.

특히, 컨테이너 장치장의 설계는 안벽처리물량에 부합하는 하

*통신회원, drasto@kmi.rc.kr 02)2105-2886

**정회원, haty@kmi.rc.kr 02)2105-2887

역능력을 갖추도록 적절한 시설 및 장비의 소요규모를 결정하는 것으로 터미널 내의 여러 시설 중에서 가장 취약한 시설영역으로 알려져 있으며, 이는 초기 터미널 개발 이후 취급능력의 추가 확보에 상대적으로 어려움이 있기 때문이다(배종욱 & 김창곤, 2001).

기존의 장치장 설계가 하역시스템, 운영방식, 불확실한 상황 등으로 인해 경험적인 설계방법에 많이 의존해 왔으나 장비 생산성에 관한 사전 검증의 미흡, 고성능 장비 사용시 장비소요대수 산출의 곤란, 초대형 컨테이너선에 대응한 설계 능력 부족 등이 경험적인 설계의 한계로 지적되고 있다.

설계단계에서 시뮬레이션 방법에 의해 더욱 정교한 예측이 가능해지면서 시뮬레이션을 확장 적용하는 것이 효과적인 것으로 인식되고 있다. 그러므로 장치장 설계의 체계적인 방법론을 정립하기 위해서는 안벽능력 산출에 적용되고 있는 시뮬레이션 분석방법의 적용이 필요하다. 이것은 시뮬레이션 방법이 터미널의 불확실한 상황과 하역시스템 및 운영방식의 시나리오 분석에 좋은 수단이 되며, 다양한 형태의 운영방식을 사전에 적용해 볼 수 있어 설계상의 시행착오를 줄일 수 있기 때문이다(윤원영 외, 1998).

컨테이너터미널의 최적설계에 대한 체계적인 연구는 1960년대 이후 항만시스템을 대기행렬 모형으로 분석하면서 본격화되었으나, 이것은 대기행렬 모형에 기초한 대기시간과 자본투자비용을 혼합한 목적함수를 최소화한 것으로 복잡한 현실을 단순화하였고 의사결정과정을 확률분포로 가정하여 설계의 효율성은 떨어졌다. 장치장의 공간크기 및 트랜스퍼 크레인 대수 결정을 위해 운영과 관련된 비용만을 최소화하는 문제로 해법을 제시한 이론적 연구가 있다(김홍배 & 김갑환, 2001). 또한 장치장의 운영방안에 대해서 자동화 항만의 장비 또는 야드 운영을 대상으로 하는 연구가 있으며(홍동희 & 정태충, 2003)(왕승진 외, 2001), 대부분의 기존 연구들이 시뮬레이션 방법을 적용하여 현실적인 해법을 제시하고자 시도하고 있다.

실제 컨테이너터미널의 설계시에 고려되는 목적함수는 다양하며, 제약조건 또한 복잡하다. 특히 컨테이너터미널의 연간물동량을 처리하기 위한 시설물들간의 안벽능력, 장치능력, 장비생산성 등의 작업단형이 이루어지는 최적설계가 요구된다.

따라서 본 연구에서는 컨테이너터미널의 연간물동량에 대한 안벽능력이 주어질 때 장치능력과 장비생산성을 고려한 장치장 설계를 다루고 있다. 장치장 설계는 터미널 특성을 고려한 개념적 설계 이후에 시뮬레이션 분석을 통하여 설계방법의 타당성을 검증하였다.

2. 컨테이너터미널 장치장

2.1 장치장의 기능 및 역할

컨테이너터미널에서 이루어지는 하역작업은 Fig. 1에서와 같이 크게 양하, 적하, 반입, 반출 등의 4가지로 분류되며, 네가지

유형의 작업유형별 컨테이너들이 장치장에서 혼재되며, 유형별 컨테이너를 처리하기 위해 야드크레인(T/C: Transfer Crane)과 이송차량(YT(Yard Truck)와 외부차량)이 연계하여 작업을 하게 된다. 장치장의 주요 기능은 보관기능이지만 시스템 측면에서는 컨테이너물류의 버퍼공간으로서의 역할을 수행하여야 하므로 각 작업이 조화를 이루어야 한다. 따라서 작업수행에서 서버 역할을 하는 장비를 위주로 다음과 같이 작업을 정의하였다.

- ① 양·적하작업은 C/C(Container Crane)가 담당하며, C/C의 시간당 처리 컨테이너 개수를 C/C생산성이라 한다.
- ② 장치장 하역작업은 야드크레인이 수행하며, 주행방식에 따라, RMGC(Rail Mounted Gantry Crane)와 RTGC(Rubber Tired Gantry Crane)로 구분된다. RTGC는 블록을 자유롭게 이동하면서 작업이 가능하나 RMGC에 비해 주행속도가 느리고 적은 수의 열폭에서만 작업이 가능하다. RMGC는 RTGC보다 주행속도가 빠르며 기계적인 작업성능은 좋으나 고정된 레일을 주행하기 때문에 작업구간이 동일한 수평블록으로 한정된다.
- ③ 이송작업은 안벽의 각 C/C에 조별로 편성된 YT그룹에 의해 이루어지며, 안벽의 C/C와 장치장의 T/C간을 순환하면서 컨테이너를 운반한다.
- ④ 반출입 작업은 게이트를 통해 도착한 외부트럭에 장치장의 컨테이너를 싣거나 내리는 작업으로 장치장의 T/C가 담당한다.

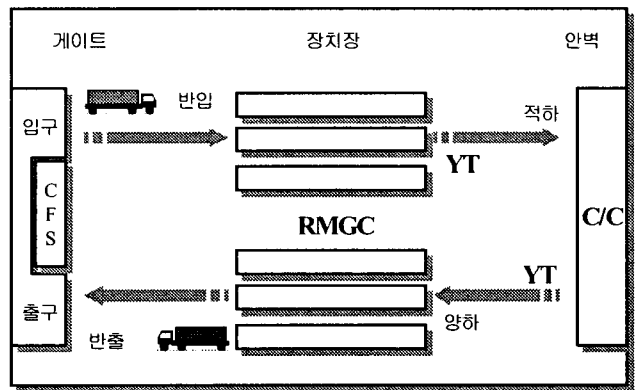


Fig. 1 Stevedoring system of container terminal

2.2 장치장 구조

장치장의 레이아웃은 장치장의 면적상에서 여러 개의 블록(block)으로 구성되며, 블록은 다시 베이(bay), 열(row), 단(tier)의 3차원 구조를 가진다. 블록은 보통 안벽에 수평하거나 수직인 직사각형의 두 가지 형태로 분류되며 수평으로 동일한 선상의 블록그룹을 런(run), 수직으로 동일한 선상의 블록그룹을 섹션(section)이라 한다. 안벽에 수평인 직사각형 형태의 장치장에서 장치장의 구조(Dimension)를 구분하면 Fig. 2와 같이 표현된다.

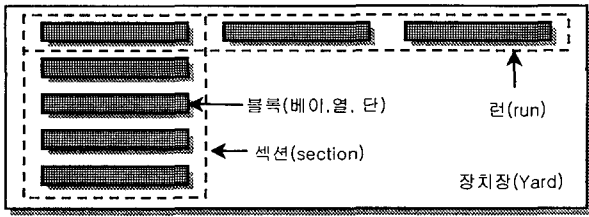


Fig.2 Horizontal vard structure

본 연구에서는 안벽에 수평한 블록형태를 가지는 장치장을 대상으로 고성능의 RMGC를 사용하는 장치장 하역시스템에 대해 안벽생산성 향상을 최대화 하는 장치장 레이아웃과 RMGC 및 YT 투입대수를 결정하도록 한다.

3. 개념적 설계

3.1 설계절차 수립

장치장 설계절차는 Fig. 3과 같이 초기 장치장 설계, 장비대수 시뮬레이션 분석, 초기 장치장 재설계, 섹션수 시뮬레이션 분석 등의 4단계로 구분되며, 각 단계별 내용은 다음과 같다.

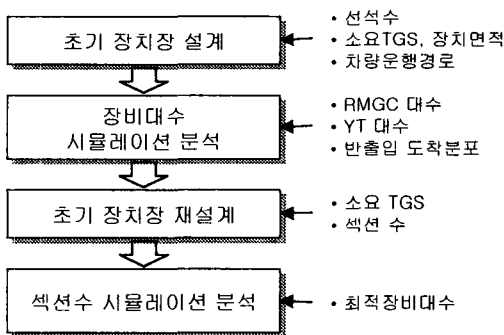


Fig. 3 Design procedure

[단계1] 선석수, 소요TGS(Total Ground Slot), 장치면적을 고려하여 장치장의 섹션수와 런수를 결정한다.

[단계2] 장비대수 시나리오를 구성하고 시뮬레이션을 통하여 최적장비대수 산출한다.

[단계3] 소요TGS를 고려하여 섹션수 시나리오를 구성한다.

[단계4] 최적장비대수를 토대로 시뮬레이션 분석을 실시하여 최적섹션수를 결정한다.

3.2 대상 터미널 정의

장치장 설계를 위한 대상 터미널은 연간 150만 TEU의 하역 능력을 가지는 컨테이너터미널을 가정하며, 이때 고려되는 설계 조건은 안벽길이 및 선석수, 야드깊이, 필요한 장치장 바닥면적 인 소요TGS, C/C 대수설계를 하며 대상터미널의 설계조건은 Table 1과 같다. 선석은 총 4척의 선박(최대길이 350m)이 동시

에 집안 가능한 안벽길이 1,400m를 가정한다.

Table 1 Design condition

구분	길이	깊이	소요TGS	C/C대수	선석수
설정값	1,400m	600m	11,048	13대	< 개

3.3 설계절차

(1) 초기 장치장 설계

초기 장치장은 RMGC장비 특성을 고려할 때 6열과 9열의 블록구조가 가능하며, 초기 장치장은 선석수와 동일한 4개 백선을 수평방향으로 설계하고 소요 TGS를 만족하는 6열 및 9열 블록 배치 설계가 가능하다. 면적점유율은 터미널 면적에서 컨테이너 적치공간이 차지하는 면적인 순야드 면적의 비율이며, 경험적 수치인 70%를 초과하지 않는 범위 내에서 결정한다.

Table 2 Block structure with 6 rows

구분	6열 배치		9열 배치	
	설계안I (9런)	설계안II (10런)	설계안III (7런)	설계안IV (8런)
총계획TGS	10,206	11,340	11,907	13,608
면적점유율(%)	63.16	68.66	62.08	69.01

설계안I은 총계획TGS가 소요TGS를 만족하지 못하므로 설계 대상에서 제외된다. 설계안II, III, IV에 대해서 사전 투입장비대수를 계산해보면 Table 3과 같다.

Table 3 Comparison of alternatives for RMGCs/run

항목	설계안-II	설계안-III	설계안-IV
3대/run	30대	21대	24대
4대/run	40대	28대	32대
5대/run	50대	35대	40대
6대/run	60대	42대	48대
7대/run	70대	49대	56대
상대비율	143%	100%	114%

설계안II, IV의 경우는 설계안III에 비하여 과다한 RMGC가 투입되므로 설계대상에서 제외된다. 따라서, 초기 장치장은 설계안III으로 결정된다.

터미널내에서 YT는 안벽⇔장치장, 외부트럭은 장치장⇔게이트간 이송작업을 하며, 초기 장치장 설계에서 차량운행경로는 Fig. 4와 같다.

(2) 장비대수 시나리오

초기 장치장에 대한 장비대수 시나리오는 장비의 특성상 Run 당 동일한 대수의 RMGC, C/C당 동일한 수의 YT가 투입되는 시나리오가 구성된다.

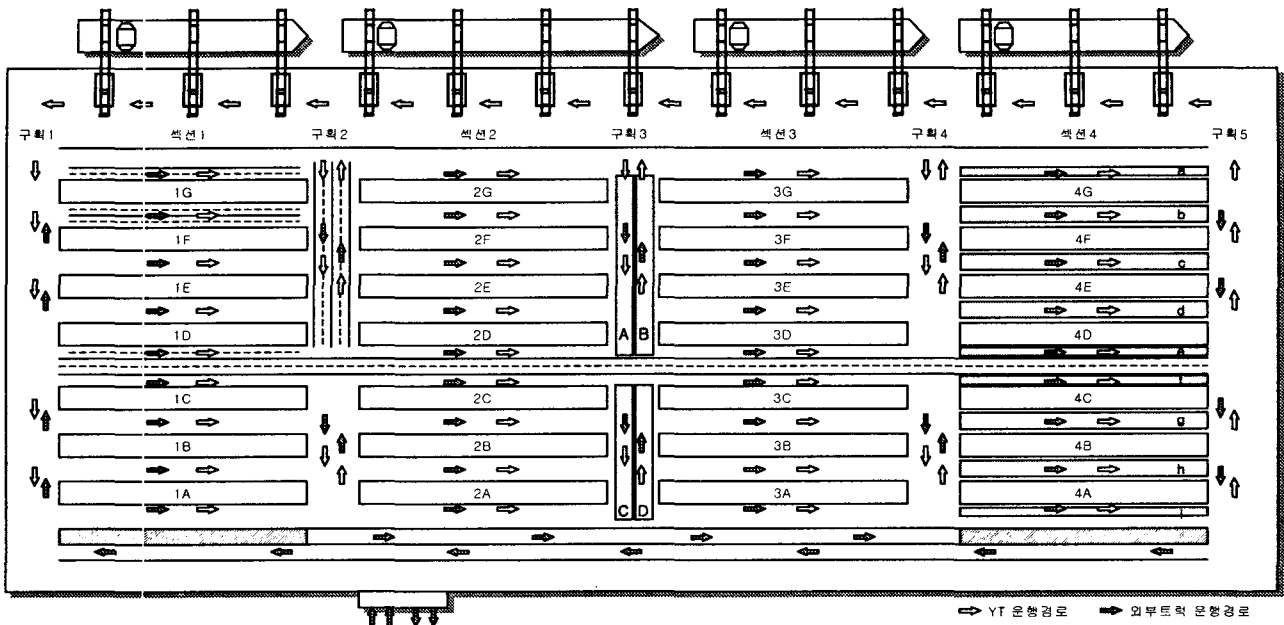


Fig. 4 Initial vehicle traffic path of yard

Table 4 Scenarios for the number of equipment

구분	RMGC	YT
투입대수	3~7대(run당)	3~7대(C/C당)

(3) 섹션수 시나리오

최적섹션수 결정을 위한 섹션수 시나리오는 소요TGS를 만족시키는 계획TGS를 확보하기 위해서는 다음과 같이 3개에서 6개까지로 구성된다.

Table 5 Scenarios for the number of section

섹션수	3개	4개	5개	6개
계획TGS	12,285	11,907	11,529	11,151

이상의 내용을 토대로 대상터미널의 개념적 설계를 구체화하기 위하여 장비대수 및 섹션수 시뮬레이션 분석을 실시한다.

4. 시뮬레이션 분석

4.1 입력자료

시뮬레이션에 적용될 C/C, RMGC, YT 및 외부트럭의 제한은 다음과 같다.

Table 6 Specification of C/C

구분	설정값	유효생산성
트롤리 속도	210m/min	37.83(lifts/hour)
작업소요시간	2~5sec	

Table 7 Specification of RMGC

구분	설정값	비고
트롤리 속도	150m/min	67(lifts/hour) 켄틸레버타입
주행 속도	130m/min	
작업소요시간	2~5sec	

Table 8 Specification of YT and outer truck

구분	설정값	비고
주행속도	20km/hour	5.5m/sec

반출입 작업발생은 Fig. 5와 같이 외부트럭의 터미널내 일일 도착분포의 실적치를 사용하였으며, 게이트처리작업을 위해서는 Table 9의 입력값을 반영하였다.

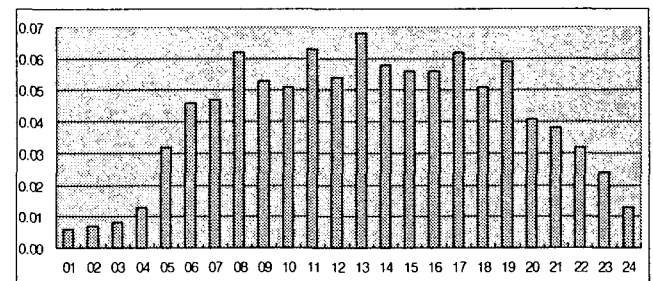


Fig. 5 Arrival distribution of outer truck

Table 9 Input values of gate

구분	설정값	비고
입구레인수	5개	처리시간
출구레인수	3개	
		110초
		20초

4.2 시뮬레이션 수행방법

컨테이너터미널의 4가지 유형의 작업(양하, 적하, 반입, 반출)을 반영하여 작업수행에 주체가 되는 장비들간의 연계성을 반영하여 시뮬레이션을 수행하도록 하였으며, 각 장비들이 수행하는 작업의 유형은 Table 10과 같다. 따라서 선박의 입항시에 주어진 물동량에 대해서 각 장비들이 각자의 작업을 수행하면서 하역시 컨테이너의 연계작업을 하도록 시뮬레이션 실험을 하였다.

Table 10 Connected work among equipment

구분	연계작업
C/C	양적하 작업, YT 상하차 작업
RMGC	YT, 외부트럭 상하차 작업
YT	C/C와 RMGC간 이송작업
외부트럭	게이트 반출입 작업

4.3 시뮬레이션 결과

(1) 장비대수 시뮬레이션

장비대수 시나리오에 대한 시뮬레이션은 런당 RMGC 할당대수와 C/C당 할당 YT대수에 대해서 실험을 수행하였다.

Table 11 C/C productivity(lifts/hour) by scenarios

런당 할당	C/C당 할당				
	YT3대	YT4대	YT5대	YT6대	YT7대
RMGC 3대	14.60	15.06	15.29	15.54	15.74
RMGC 4대	21.64	24.05	24.71	24.94	25.48
RMGC 5대	24.70	30.05	33.01	33.81	34.06
RMGC 6대	25.97	32.07	35.82	37.01	37.21
RMGC 7대	26.65	32.99	36.56	37.42	37.49

Table 11의 장비대수 시뮬레이션 결과에서 RMGC와 YT의 투입대수가 증가할수록 C/C의 생산성은 증가하였다.

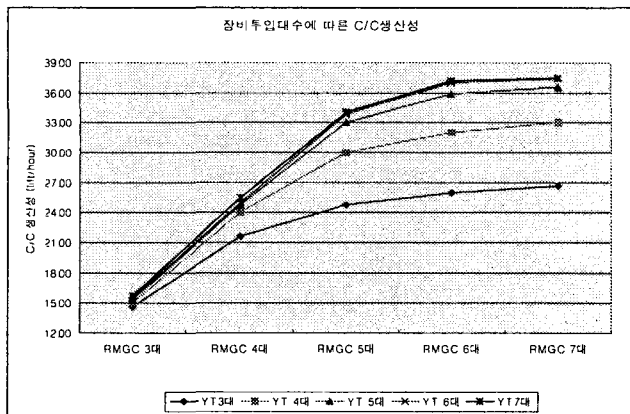


Fig. 6 Graph of C/C productivity by RMGC allocation

장비별로 향상효과에 있어서 장비투입대수 증가에 따른 C/C 생산성 향상효과는 Fig. 6에서 RMGC와 YT 모두 6대 이상 투입시에는 체감현상이 두드러지게 나타나며, Fig. 7에서는 YT가 6대가 넘어서면서 생산성 향상효과가 거의 없음을 알 수 있다.

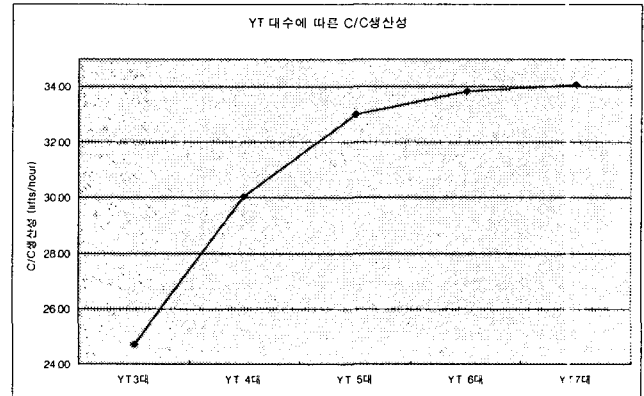


Fig. 7 Graph of C/C productivity by YT allocation

따라서, RMGC는 런당 5대, YT는 C/C당 5대가 C/C 생산성을 고려할 때 최적의 장비대수라고 판단할 수 있다.

(2) 섹션수 시뮬레이션

초기 장치장의 섹션수가 최적설계인지의 여부를 결정하기 위해 섹션수 시뮬레이션 분석을 수행한다. 섹션수 분석에서는 최적장비대수가 사용된다.

Table 12 Simulation results for the number of section

섹션 수	C/C 생산성	계획 TGS
3개	31.47 lifts/hour	12,285
4개	33.01 lifts/hour	11,907
5개	33.06 lifts/hour	11,528
6개	33.31 lifts/hour	11,151

섹션수 분석 결과 섹션수를 줄이면 YT의 이동경로가 증가하며, 섹션수가 늘어나면 YT의 이동경로가 상대적으로 줄어들기 때문에 섹션수의 변경으로 C/C의 작업효율이 영향을 받게 된다는 것을 알 수 있다.

Table 12에서 3개 섹션구조는 C/C의 생산성이 저하되는 현상을 보였으며, 5개 이상의 섹션은 4개 섹션 때의 C/C 생산성에 비해서 향상정도가 미미하였다. 따라서 계획TGS 측면에서 유리한 4개 섹션이 최적섹션수로 결정된다.

4.4 장치장 설계 최종안

이상의 장비대수와 섹션수 시뮬레이션 분석을 통하여 최종결정된 장치장 설계안은 다음과 같다.

Table 13 Final program of yard design

항목	결정안	비고
C/C	투입대수 13대	33.01 (lifts/hour)
장치장배치	블록열수: 9열 섹션 수: 4개 런 수: 7개	런 당 블록 구조 · 48베이 1개 · 47베이 3개
RMGC	총 대수: 35대	런 당 5대
YT	총 대수: 65대	C/C당 5대

4.5 차량통행량 분석

차량통행량 분석은 장치장 설계 최종안에 대해 블록별 차량통행량을 추가로 분석한 것으로 장치장 설계시 차량주행라인의 수를 결정하고자 할 때 활용할 수 있다.

Fig. 4에 표시된 레이아웃에서 통행량 분석은 장치장의 각 구획별로 순간최대통행수와 통행량 상대비율을 산출한 것으로 장치장의 각 구획에 따라 상당한 차이를 보이고 있다.

블록 측면 순간최대 차량통행 대수는 17대였으며, 307.2m 구간에 대해서 4차선이일 경우이다. 섹션 간 순간최대 차량통행 대수는 8대였으며, 164.8m구간에 대해서 4차선을 적용하도록 하였다. 그리고 구획간 통행량 격차는 1.54이며, 섹션간 통행량 격차는 1.24로 구획 대 섹션의 비율은 5.03 대 1의 비율로 구획쪽의 통행량이 많은 것으로 나타났다.

Table 14 Maximum number of vehicles in peak

구분	a	b	c	d	e	f	g	h	i
섹션1	10	14	13	9	7	12	14	16	15
섹션2	11	14	14	9	9	9	13	16	14
섹션3	12	14	12	8	6	9	13	17*	14
섹션4	11	16	12	11	6	13	11	16	13
	구획1	구획2	구획3	구획4	구획5				
A	7	7	6	5	4				
B	4	7	8*	7	8*				
C	5	8*	8*	7	6				
D	5	7	8*	7	6				

Table 15 Traffic rates

구분	a	b	c	d	e	f	g	h	i
섹션1	1.65	3.19	2.60	2.13	1.05	1.75	3.26	3.35	1.88
섹션2	1.90	3.78	3.17	2.53	1.28	1.98	3.82	4.01	2.20
섹션3	1.83	3.63	3.11	2.40	1.23	1.96	3.61	3.87	2.11
섹션4	1.55	3.08	2.51	2.03	1.00	1.65	3.06	3.16	1.74
	구획1	구획2	구획3	구획4	구획5				
A	16.01	18.59	15.88	13.14	4.03				
B	4.08	13.08	18.82	16.72	14.95				
C	7.93	14.91	13.70	12.33	7.84				
D	7.91	12.48	15.04	14.03	7.26				

앞에서 정리된 통행량 분석결과는 장치장 설계시 원활한 차량 흐름을 위해 구획별로 차량라인수를 결정하는데 유용하게 활용

될 수 있을 뿐만 아니라 하부의 토목부분 지반공사에서 필요로 하는 지반 압밀도 및 포장두께에도 필요한 자료가 되므로 상부의 평면배치설계와 하부의 토목공사간의 인터페이스 역할을 하는 매개체가 되기도 한다.

일반적으로, 컨테이너터미널 내부에서 차량의 원활한 흐름은 YT의 경우 C/C의 작업대기시간을 줄여 생산성을 향상시키는 효과가 있으며, 외부트럭의 경우 컨테이너터미널 내에서의 체류시간이 줄어들어 결국 서비스 향상을 가져오는 중요한 역할을 한다.

이상에서와 같이 Table 13의 장치장 설계안에 추가적으로 차량통행량 분석이 추가되면 컨테이너터미널의 토목공사, 운영시스템 및 장비 구입을 위한 개발의 기본단계가 완성된다.

5. 결 론

본 연구에서는 컨테이너터미널의 효율적인 운영을 위해 터미널의 장치장 설계를 개념적 설계절차로 정의하였으며, 장치장의 개념적 설계 이후에 시뮬레이션 분석을 통하여 장비의 투입대수를 결정하였다. 또한 설계된 장치장에 대해 차량 통행량을 분석하여 장치장 설계의 타당성을 검토해 보았다. 본 연구에서 제시된 설계절차와 시뮬레이션기법은 고성능의 RMGC 하역시스템을 적용하는 컨테이너터미널의 개발시에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 본다.

참 고 문 헌

- [1] 김홍배, 김갑환(2001), "컨테이너 터미널 수입장치장의 공간크기 및 트랜스퍼 크레인 대수 결정", 한국SCM학회 학술대회 논문집.
- [2] 배종욱, 김창곤(2001), "컨테이너터미널의 야드 재고량 분석에 대한 연구", 해양정책연구, 16(1), 27-59.
- [3] 왕승진, 김갑환, 박영만, 양창호, 김영훈, 배종욱(2001), "컨테이너 터미널에서의 자동화 야드크레인 운영 시뮬레이션 연구", 2001 대한산업공학회 추계학술대회, 243-246.
- [4] 윤원영, 안창근, 최용석, 김갑환(1998), "시뮬레이션을 이용한 컨테이너 터미널의 운영계획 평가", 「한국시뮬레이션학회 논문지」, 7(2), 91-104.
- [5] 홍동희, 정태충(2003), "자동화항만의 야드 운영시스템 레이아웃 설계", 정보처리학회논문지, 10-D(1), 101-108.