

# 시뮬레이션을 이용한 컨테이너 터미널의 장치장 설계

하태영\*, 최용석\*\*, 김우선\*\*\*

## Yard Design of the Container Terminal using the Simulation

Tae-Young Ha, Yong-Seok Choi, Woo-Sun Kim

### Abstract

This paper presents a method for designing layout on the yard and evaluating alternative designs of the layout by applying simulation. The method is based on the concepts of the conventional port container terminal with a perpendicular 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 structure 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 the number of equipment using the simulation. Numerical examples are provided in order to illustrate the conceptual procedure. As the example, the suggested method and simulation are applied to the virtual container terminal with a perpendicular yard layout. In the 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 additional, the traffic among blocks on yard layout is estimated in terms of rate

**Key Words:** yard design(장치장 설계), section(세로구획), run(가로구획), yard truck(야드트럭), yard crane(야드크레인), container crane(컨테이너크레인)

\* 한국해양수산개발원 해운물류·항만연구센터 연구원, haty@kmi.re.kr, 02)2105-2887

\*\* 한국해양수산개발원 해운물류·항만연구센터 책임연구원, drasto@kmi.re.kr, 02)2105-2886

\*\*\* 한국해양수산개발원 해운물류·항만연구센터 연구원, firstkim@kmi.re.kr, 02)2105-2889

## 1. 서론

컨테이너터미널은 수출입화물의 해상운송과 육상운송을 연결하는 중요한 물류시스템으로, 경제규모 확대와 이에 따른 컨테이너물동량 증가로 꾸준히 계획, 개발되고 있다. 컨테이너터미널의 설계는 처리물량에 부합하는 하역능력을 갖추도록 적절한 시설 및 장비의 소요규모를 결정하는 것으로, 하역시스템, 운영방식, 불확실한 상황 등으로 인해 경험적인 설계방법에 많이 의존해 왔으나, 최근 들어 시물레이션에 의한 설계방법이 더 효과적인 것으로 인식되고 있다. 이것은 시물레이션 방법이 터미널의 불확실한 상황과 하역시스템, 운영방식의 분석에 좋은 수단이 되며, 다양한 형태의 운영방식을 사전에 적용해 볼 수 있어 설계상의 시행착오를 줄일 수 있기 때문이다.

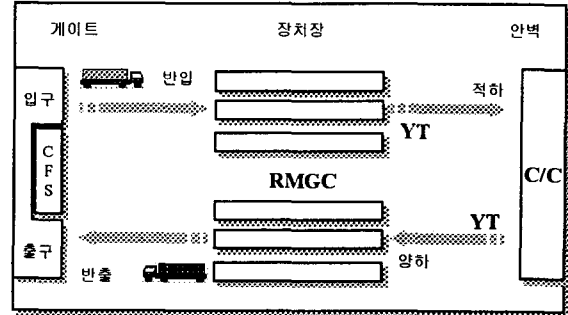
컨테이너터미널의 최적설계에 대한 체계적인 연구는 1960년대 이후 항만시스템을 대기행렬 모형으로 분석하면서 본격화되었으나, 이것은 대기행렬 모형에 기초한 대기시간과 자본투자비용을 혼합한 목적함수를 최소화한 것으로 복잡한 현실을 단순화하였고 의사결정 과정을 확률분포로 가정하여 설계의 효율성은 떨어졌다. 실제 컨테이너터미널의 설계시에 고려되는 목적함수는 다양하며, 제약조건 또한 복잡하다. 특히 컨테이너터미널의 연간물동량을 처리하기 위한 안벽능력, 장치능력, 장비생산성 등의 작업균형이 이루어지는 최적설계가 요구된다.

본 연구에서는 컨테이너터미널의 연간물동량에 대한 안벽능력이 결정된 이후에 장치능력과 장비생산성을 고려한 장치장 설계를 다루고 있다. 장치장 설계는 터미널 특성을 고려한 개념적 설계이후에 시물레이션 분석을 통하여 설계방법의 타당성을 검증하였다.

## 2. 컨테이너 터미널

### 2.1 하역작업

컨테이너터미널에서 이루어지는 하역작업은 크게 4가지로 분류된다.



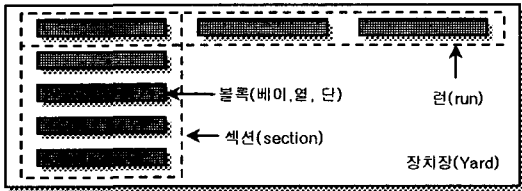
[그림 1] 컨테이너터미널 하역시스템

① 양·적하작업은 C/C(Container Crane)가 담당하며 C/C의 시간당 처리 컨테이너 개수를 C/C생산성이라 한다. ② 장치장 하역작업은 야드크레인(T/C)이 사용되며, 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 YT(Yard Truck)그룹에 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.

### 2.2 장치장 구조

장치장의 레이아웃은 장치장의 면적상에서 여러개의 블록(block)으로 구성되며, 블록은 다시 베이(bay), 열(row), 단(tier)의 3차원 구조를 가진다. 블록은 보통 안벽에 수평하거나

수직한 직사각형의 두 가지 형태로 분류되며 수평으로 동일한 선상의 블록그룹을 런(run), 수직으로 동일한 선상의 블록그룹을 섹션(section)이라 한다.



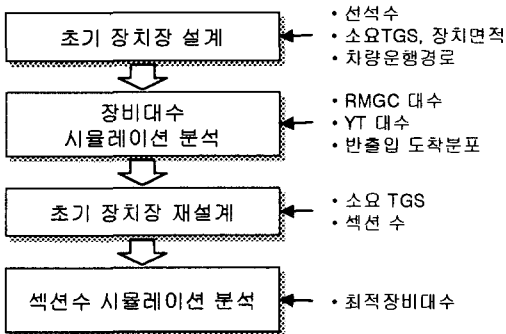
[그림 2] 수평 장치장 구조

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

장치장 설계절차는 크게 4단계로 구분되며, 각 단계별 내용은 다음과 같다.



[그림 3] 설계절차

[단계1] 소요TGS, 장치면적, 선석수를 고려하여 장치장의 섹션수와 런수를 결정한다.

[단계2] 장비대수 시나리오를 구성하고 시물레이션을 통하여 최적장비대수 산출한다.

[단계3] 소요TGS를 고려하여 섹션수 시나리오를 구성한다.

[단계4] 최적장비대수를 토대로 시물레이션 분석을 실시하여 최적섹션수를 결정한다.

### 3.2 장치장 설계

#### 3.2.1 대상 터미널

연간 150만 TEU의 하역능력을 가지는 컨테이너터미널을 대상으로 장치장 설계를 하며 대상터미널의 설계조건은 다음과 같다.

<표 1> 터미널 설계조건

구분	길이	폭	소요TGS	C/C수	선석수
설정값	1,400m	600m	11,048	13대	4개

#### 3.2.2 초기 장치장 설계

초기 장치장은 RMGC장비 특성을 고려할 때 6열과 9열의 블록구조가 가능하며, 수평방향으로 4개 섹션으로 설계하면 다음과 같다.

<표 2> 6열 블록구조

구분	6열 배치	
	설계안-I(9런)	설계안-II(10런)
총계획TGS	10,206	11,340
면적점유율	63.16%	68.66%

<표 3> 9열 블록구조

구분	9열 배치	
	설계안-III(7런)	설계안-IV(8런)
총계획TGS	11,907	13,608
면적점유율	62.08%	69.01%

설계안-I은 총계획TGS가 소요TGS를 만족하지 못하므로 설계대상에서 제외된다. 설계안-II,III,IV에 대해서 사전 투입장비대수를 계산해보면 <표 4>와 같다.

<표 4> 설계안별 RMGC 대수 비교표

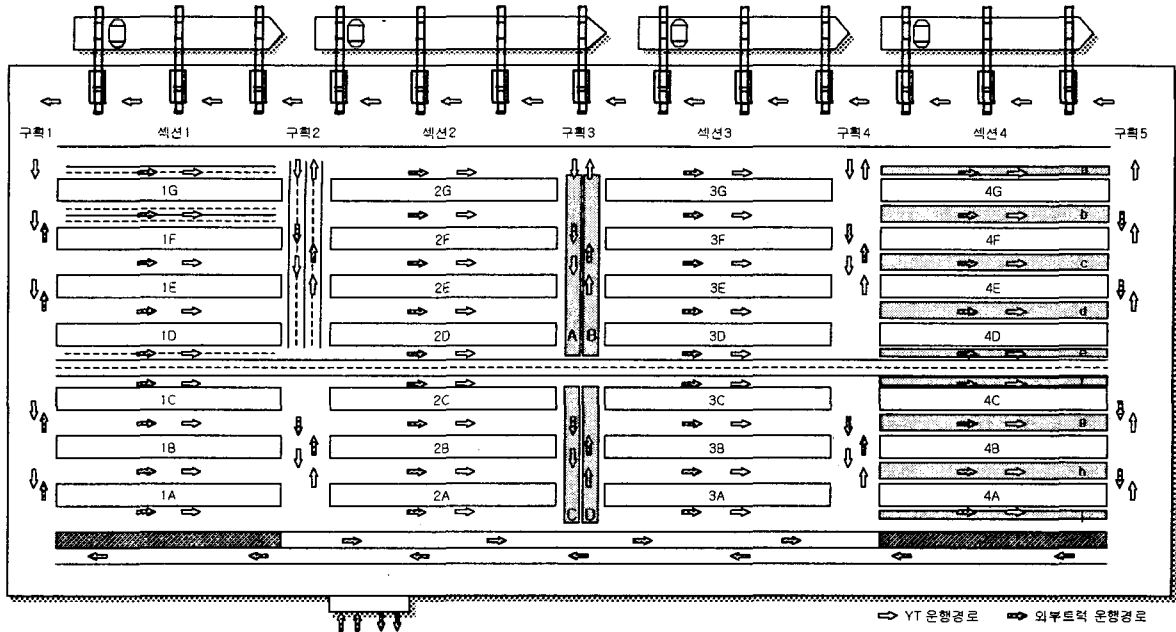
항목	설계안-II	설계안-III	설계안-IV
3대/run	30대	21대	24대
4대/run	40대	28대	32대
5대/run	50대	35대	40대
6대/run	60대	42대	48대
7대/run	70대	49대	56대
상대비율	143%	100%	114%

설계안-II,IV의 경우는 설계안-III에 비하여

과다한 RMGC가 투입되므로 설계대상에서 제외된다. 따라서, 초기 장치장은 설계안-III으로 결정된다.

<표 6> 섹션수 시나리오

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



[그림 4] 초기 장치장의 차량운행경로

터미널내에서 YT는 안벽⇔장치장, 외부트럭은 장치장⇔게이트간 이송작업을 한다. 초기 장치장의 차량운행경로는 [그림 4]와 같다.

3.2.3 장비대수 시나리오

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

<표 5> 장비대수 시나리오

구분	RMGC	YT
투입대수	3~7대(run당)	3~7대(C/C당)

3.2.4 섹션수 시나리오

최적섹션수 결정을 위한 섹션수 시나리오는 소요TGS를 고려할 때 다음과 같이 구성된다.

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

4. 시물레이션 분석

4.1 기초자료

시물레이션에 적용될 C/C, RMGC, YT 및 외부트럭의 설정은 다음과 같다.

<표 7> C/C 제원

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

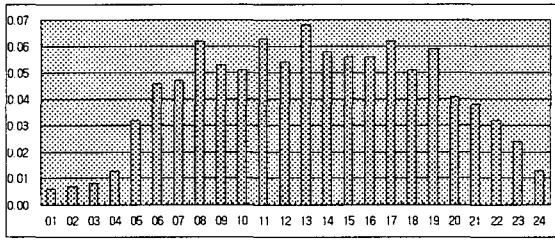
<표 8> RMGC 제원

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

<표 9> YT, 외부트럭 제원

구분	설정값	비고
주행속도	20km/hour	5.5m/sec

반출입 작업발생은 외부트럭의 터미널내 일일 도착분포를 사용하였으며, 게이트처리작업을 반영하였다.



[그림 5] 외부트럭 도착분포

<표 10> 게이트 처리작업

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

#### 4.2 수행방법

4가지 하역작업의 장비간 연계성을 반영하여 시뮬레이션을 수행하도록 하였다.

<표 11> 장비별 연계작업

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

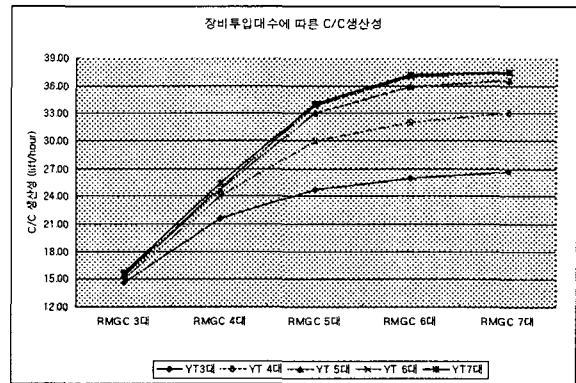
##### 4.3.1 장비대수 시뮬레이션

장비대수 시나리오에 대한 시뮬레이션 수행 결과는 다음과 같다.

<표 12> C/C 생산성(lifts/hour)

장비대수	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

장비대수 시뮬레이션 결과에서 RMGC와 YT의 투입대수가 증가할수록 C/C의 생산성은 증가하였다. 장비별로 향상효과에 있어서 장비투입대수 증가에 따른 C/C 생산성 향상 효과는 [그림 6]에서 RMGC와 YT 모두 6대 이상 투입시에는 체감현상이 두드러지게 나타남을 알 수 있다.



[그림 6] C/C 생산성 그래프

따라서, RMGC는 run당 5대, YT는 C/C당 5대가 최적장비대수로 결정된다.

##### 4.3.2 섹션수 시뮬레이션

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

<표 13> 섹션수 시뮬레이션 결과

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	11,529
6개	33.31 lifts/hour	11,151

<표 13>에서 3개 섹션구조는 C/C의 생산성이 저하되는 현상을 보였으며, 5개 이상의 섹션은 C/C의 생산성 향상이 미미하였다. 따라서 계획TGS 측면에서 유리한 4개 섹션이 최적섹션수로 결정된다.

#### 4.4 장치장 설계 최종안

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

<표 14> 장치장 설계 최종안

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

#### 4.5 차량통행량 분석

본 연구에서는 장치장 설계 최종안에 대해 블록별 차량통행량을 추가로 분석해 보았다.

<표 15> 순간 최대차량대수

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				

<표 16> 통행량 상대비율

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				

통행량 분석은 장치장의 각 구획별로 순간 최대통행수와 통행량 상대비율을 산출한 것으로 장치장의 각 구획에 따라 상당한 차이를 보이고 있다. 통행량 분석결과는 장치장 설계시 원활한 차량흐름을 위해 구획별로 차량레

인수를 결정하는데 유용하게 활용될 수 있다. 일반적으로, 터미널내에서 차량의 원활한 흐름은 YT의 경우 C/C의 작업대기시간을 줄여 생산성을 향상시키는 효과가 있으며, 외부트럭의 경우 터미널내 체류시간이 줄어들어 서비스의 향상을 가져오게 된다.

### 5. 결론

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

### 참고문헌

- [1] 배종욱, 양창호, 김갑환, 윤원영, 김영훈, "컨테이너터미널 계획을 위한 시물레이션 통합 관리시스템의 설계", 「한국시물레이션 학회 2001추계학술발표대회 논문집」, pp.49-53, 2001
- [2] 윤원영, 안창근, 최용석, 김갑환, "시물레이션을 이용한 컨테이너 터미널의 운영계획 평가", 「한국시물레이션학회 논문지」, 제7권, 제2호, pp.91-104, 2001.
- [3] 양창호, 김창근, 배종욱, "컨테이너터미널 선척처리능력 추정방안에 관한 연구", 기본연구 2001-01, 한국해양수산개발원, 2001.