한국항해항만학회 제30권 제2호 추계학술대회논문집 pp. 345~352, 2006. 12

HSS 컨테이너 터미널에서의 장치장 블록 배치 효율성 비교

하태영* · 최상희**

*한국해양수산개발원 책임연구원, **한국해양수산개발원 부연구위원

A Comparison of the Efficiency of HSS Yard Layout at Container Terminal

*Tae-Young. Ha** · *Sang-Hei. Choi***

*, ***Shipping, Logistics and Port Research Center, Korea Maritime Institute, Seoul 137-851, Korea*

요 약 : 본 연구의 목적은 HSS 장치시스템에 대한 2가지 블록배치안(수평, 수직방향)의 효율성을 평가하는 것이다. 수평배치형은 터미널의 선석방향과 평행하게 장치블록을 배열하는 형태이며, 수직배치형은 선석방향과 직교되게 블록을 배치하는 설계형태를 말한다. 이러한 장치장의 블록배치형태에 따라 야드시스템과 이송시스템의 하역성능이 달라지기 때문에 효율적인 설계가 요구된다고 할 수 있다. 이에, 본 연구에서는 HSS 장치시스템의 2가지의 블록배치안에 대해 장치용량, 생산성, 시설투자, 반출입 외부트럭의 서비스면에서 그 효율성을 상호 비교해 보았다.

핵심용어 : 고층장치시스템, 컨테이너 터미널, 야드배치, 생산성, 시뮬레이션

ABSTRACT : *The purpose of this paper is to evaluate the efficiency of two yard layout of HSS at container terminal. one is that the container yard blocks are placed horizontally in parallel with berth, the other is that the yard blocks are arranged vertically in perpendicular to the berth. In stevedoring system of container terminal, stacking and transport performance are influenced according to block arrangement type of yard. Therefore, efficient design that can improve stacking and transport performance is required. In this paper, we compared their efficiency of two block arrangement concepts in terms of storage capacity, productivity, facility investments, truck service level.*

KEY WORDS : *High stacking system, container terminal, yard layout, productivity, simulation*

1. 서 론

컨테이너의 물량이 지속적으로 증가함에 따라 터미널에서도 그 처리능력을 증가시키기 위해 고효율의 터미널 개발을 추진하고 있다. 컨테이너 터미널의 처리능력을 결정하는 주요 요소를 크게 2가지로 구분하면 하역능력과 저장능력을 들 수 있다. 하역능력의 경우에는 일정 범위내에서 하역장비의 수량을 증가시키기거나 장비의 성능을 향상시킴으로써 그 능력을 쉽게 높일 수 있다. 그러나, 저장능력은 장치장의 설계변경이 쉽지 않기 때문에 가급적 터미널의 설계시에 한정된 부지면적에 최대한의 저장공간을 확보하는 설계방법이 요구된다.

*정회원, haty@kmi.re.kr 02)2105-2887

**정회원, shchoi@kmi.re.kr 02)2105-2888

이에 한정된 부지내에서 컨테이너 저장공간을 최대한으로 높일 수 있는 고층적재시스템(High Stacking System, HSS)은 터미널의 장치공간 부족현상을 해소할 수 있는 좋은 대안으로 평가될 수 있다. HSS 장치시스템이 기존의 장치시스템과 가장 대별되는 큰 차이점은 장치장 블록배치형태가 장치장의 하역성능을 결정하게 된다는 것이다. 기존 터미널에서는 장치장의 하역성능은 블록배치형보다는 장비의 수량에 의해 더 많은 영향을 받는 것이 일반적이라 할 수 있다. 그러나, HSS 장치시스템의 경우에는 야드블록배치형태에 따라 야드의 하역성능이 매우 달라질 수 있게 된다.

컨테이너 터미널의 장치장의 블록배치 형태에 따른 기존 연구에는 대부분 수평 및 수직블록배치의 상호비교에 관한 연구들이 다수 수행되었는데, 이들 연구에서 대부분 수직배치형태의 블록설계가 하역생산성 측면에서 우수한 것으로 평가하였다

([1][3][4]). 그 외, 수직배치안만을 대상으로 몇 가지 장비유형에 따른 하역생산성을 분석한 연구([2]), 터미널의 장치장 설계에 대한 절차를 수행한 연구도 진행되었는데([6]) 이들 모두는 대부분 RMGC 형태의 야드시스템에 기반한 연구들에 해당한다. 본 연구는 HSS 장치시스템을 대상으로 하고 있으며, 이러한 HSS 장치시스템을 터미널에 도입하기 위해서는 장치시스템의 설계형태가 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

따라서, HSS 장치시스템을 대상으로 수평 및 수직방향의 2가지의 야드블록배치형태에 대한 터미널 하역시스템의 효율성을 분석하고 그 결과를 토대로 HSS 전용터미널의 장치장 설계방향을 제시해 보았다.

2. HSS 장치시스템

2.1 시스템 구조

HSS 장치시스템에는 크게 4가지 장치모듈이 구성되어 있으며, 컨테이너의 입출고 및 보관작업의 역할을 수행한다. 각 장치모듈의 역할을 요약하면 다음과 같다.

① 로더(Loader) 장치: 차량으로부터 컨테이너를 싣거나 건네주는 작업을 담당하는 Input/Output 하역장치
② 대차(Automatic Platform Car): HSS 장치시스템 내부에서 컨테이너의 수평 운반을 담당하는 장치
③ 승강기(Elevator): HSS 장치시스템 내부에서 컨테이너를 수직으로 운반하고 랙에 컨테이너를 적재하는 장치
④ 랙구조물(Rack): 컨테이너의 장치공간으로 중앙통로를 기준으로 좌우대칭의 열수를 가지는 3차원의 구조물

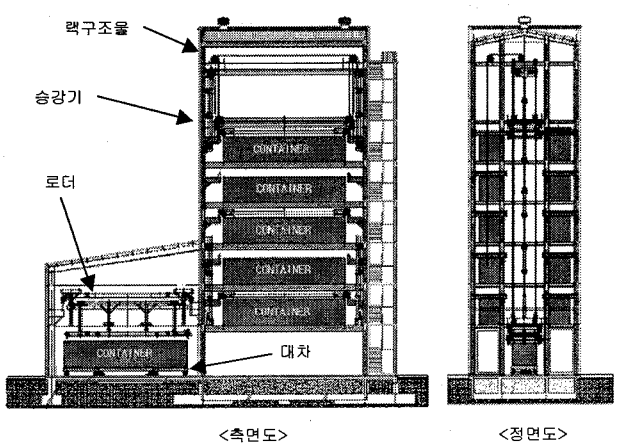


Fig. 1 Structure and mechanism of HSS

2.2 시스템 운영 및 성능

HSS 장치시스템의 각 장치모듈은 각각 독립적으로 하역작업을 수행하도록 설계된 형태이다. 시스템 운영은 크게 입고와 출고의 2가지 작업과 내부에서의 이적작업을 수행하며 입출고 작업시에는 매번 1회의 로더, 대차, 승강기 하역작업을 단계별로 거치게 된다.

입고작업 과정은 차량⇒로더작업⇒대차운반⇒승강기운반 및 적재 과정으로 이루어지며 출고작업은 그 역순으로 작업이 진행된다. 입고작업은 터미널에서 이송장비의 양하작업과 외부트럭 반입작업을 의미하며, 출고작업은 적하작업과 반출작업에 해당한다. 내부이적작업시에는 로더의 하역작업은 생략된다.

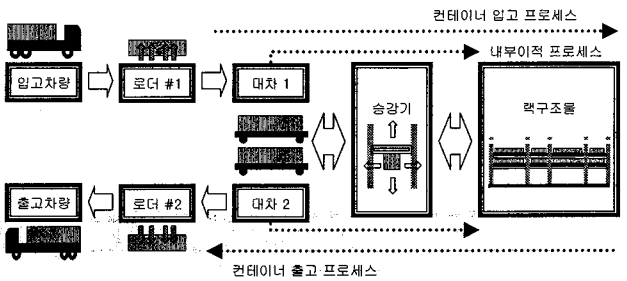


Fig. 2 Storage and Retrieval process of HSS

HSS 장치시스템의 성능은 입고와 출고에 소요되는 시간으로 각 장치모듈의 작업과정을 고려하여 산출할 필요가 있다. 입고시와 출고시 모두 로더, 대차, 승강기의 하역작업과정을 거치게 되는데 이 과정에서 평균작업소요시간이 가장 긴 작업단계의 소요시간이 입출고에 소요되는 평균시간으로 볼 수 있다.

로더, 대차, 승강기 각각의 작업소요시간은 Table 1과 같다.

Table 1 Specification of each equipment module on HSS

구분	성능항목	작업성능
로더	시간당 처리개수	45개(80초)
대차	평균주행속도	2.2m/s
승강기	평균상승 속도	0.5m/s
	평균하강 속도	0.7m/s

로더작업의 경우에는 이송차량이나 외부트럭과의 단독작업이므로 로더 자체의 성능을 기준으로 입출고에 소요되는 평균시간을 구할 수 있다. 그러나, 대차와 승강기의 경우에는 자체의 성능외에 랙구조물의 설계형태나 규모에 따라 하역작업에 소요되는 평균시간이 달라지게 된다. 대차의 경우는 랙구조물의 길이에 따라 평균주행거리가 달라지며, 승강기의 경우에는 적재층수나 좌우열수에 따라 입출고에 소요되는 시간이 달라질 수 있다.

입출고 작업에 소요되는 평균시간은 다음과 같이 된다.

• 로더 평균작업소요시간: T_L

• 대차 평균작업소요시간: T_{APC}

• 승강기평균작업소요시간: T_E

• 입출고작업평균소요시간: $Max\{T_L, T_{APC}, T_E\}$

만약, 입출고 시간을 최소화하기 위해서는 대차와 승강기의 작업소요시간을 로더작업 시간인 80초보다 짧아지도록 랙구조물을 설계하는 것이다. 이렇게 하기 위해서는 대차의 경우 평균 수행속도가 2.2m/s 이므로 왕복운행을 고려하면 랙구조물의 길이를 88m 이내로 정도로 설계해야 하며, 마찬가지로 승강기의 경우에도 최대 20층의 적재단적수를 작업하는데 평균 279.4초가 소요되므로 로더당 3.5대의 승강기 설치가 필요하게 된다.

Table 2 Required Configuration of Rack Frame based on Loader Capacity

구분	랙구조물 설계범위
대차운행거리	왕복운행거리 176m 이내
승강기 대수	로더당 3.5대 이상

3. HSS 장치시스템 기본설계

HSS 장치시스템을 터미널의 야드시스템으로 사용하기 위해서는 기본적으로 랙구조물의 설계형태를 결정해야 한다. 랙구조물은 크게 터미널의 야드시스템에 적용되는 수평 및 수직형의 2가지 배치방향으로 설계할 수 있는데, 2가지 배치안에 대해 1개 블록에 대한 기본설계와 1개 선석에 대한 터미널 설계로 나누어 살펴본다.

3.1 수평배치형 기본설계

수평배치형태는 기존 대부분의 터미널에서 적용되고 장치장 설계형태로 터미널의 선석방향과 평행하게 블록을 설계하는 것이다. 수평배치형으로 블록을 설계할 경우에 차량의 안벽⇔장치장간 운행거리가 길어지는 편이며, 블록을 통행하는 이송장비와 외부트럭이 차량의 주행로를 공용으로 사용하는 경우와 각각 전용주행로를 사용하는 경우의 2가지의 설계형태를 가질 수 있다.

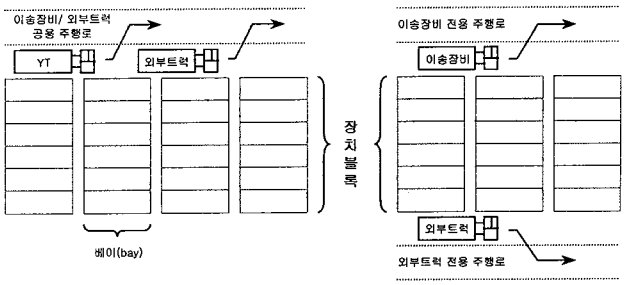


Fig. 4 General Design of yard block on container terminal

그러나, HSS 장치시스템을 수평배치형으로 설계할 경우 이러한 차량공용주행로보다는 이송장비와 외부트럭의 주행로를 분리시켜 설계하는 것이 유리하다.

HSS 장치시스템의 수평배치형태의 기본설계는 Fig. 3와 같이 블록의 양측면에 차량의 통행로와 TP(Transfer Point)를 두는 형태로 이송장비와 외부트럭이 각각 전용주행로를 사용하는 방식으로 설계한다.

야드에서의 하역작업은 HSS의 양끝단에 위치한 2곳의 TP에서 로더에 의해 하역작업이 이루어지는데 이때, 로더는 양하·적하 및 반입·반출을 모두 병행한다. 따라서, 2개의 로더에 작업을 분산시킬 수 있으므로 장치시스템의 활용성을 다소 높일 수 있는 장점을 가진다.

3.2 수직배치형 기본설계

HSS의 수직배치형 설계형태는 일부 자동화 터미널에서 적용되고 있는 배치방식으로 안벽방향과 수직하게 블록을 설계하는

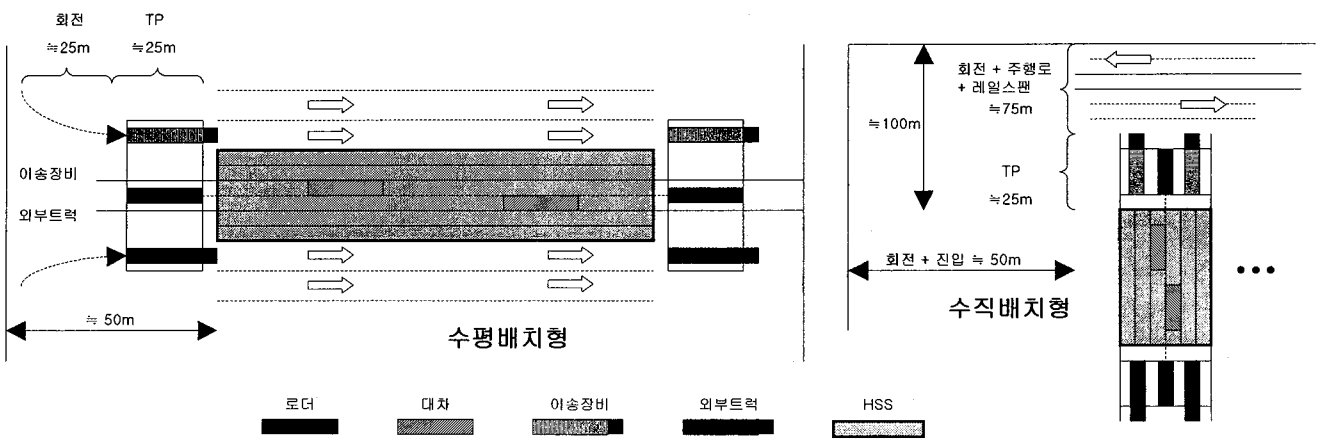


Fig. 3 Basic Design of yard block for HSS

방식이다. 안벽방향에서는 레일스팬과 이송장비의 회전 및 TP 구간을 고려하고 육측방향은 외부트럭의 주행에 필요한 회전 및 TP구간을 고려하여 블록을 수직방향으로 설계한다.

수직배치형은 이송장비와 외부트럭의 운행이 완전분리되는 형태가 되기 때문에 하역작업 또한 해측과 육측의 로더가 각각 야드작업을 전담하는 형식을 취하게 된다. 따라서, 수평배치형태에 비해 로더의 작업을 균등하게 분배할 수 없기 때문에 로더의 활용성은 수평배치에 비해 다소 떨어진다고 할 수 있다.

4. HSS 장치시스템 터미널 설계

HSS 장치시스템을 바탕으로한 터미널 야드 설계에는 장치단적수을 최고 20층으로 적용하며 1개의 장치블록에는 2개의 로더와 2개의 대차가 운영된다. 랙구조물은 20피트와 40피트가 교대로 반복되는 병렬 배열의 베이구조이며, 각 블록의 양측면에는 수평의 경우 이송장비와 외부트럭이 주행할 수 있는 1개 주행로를 둔다.

터미널 설계에는 안벽길이 350m, 야드깊이 400m인 1개 선석을 터미널 면적으로 적용하며, HSS를 장치시스템으로 적용하기 위해서는 2가지 배치안 각각에 적용될 블록의 베이수와 개수를 결정하여 장치장을 설계해야 한다.

4.1 수평배치형 HSS 터미널 설계

수평배치형에서는 블록의 최대베이수가 안벽길이에 영향을 받게 되는데, 안벽길이 350m에서 차량의 회전구간과 TP구간의 여유분을 제외하면 실제 블록설계를 위한 거리는 250m 정도가 된다. 따라서, 20ft를 기준으로 1개 블록에는 최대 38개의 베이를 구성할 수 있다.

블록의 개수는 야드깊이 400m를 기준으로, 안벽의 레일스팬과 회전거리 그리고, 블록별 차량주행로와 터미널 기타 시설면적의 여유공간으로 감안하면 총 7개의 블록을 수평으로 배치할 수 있다.

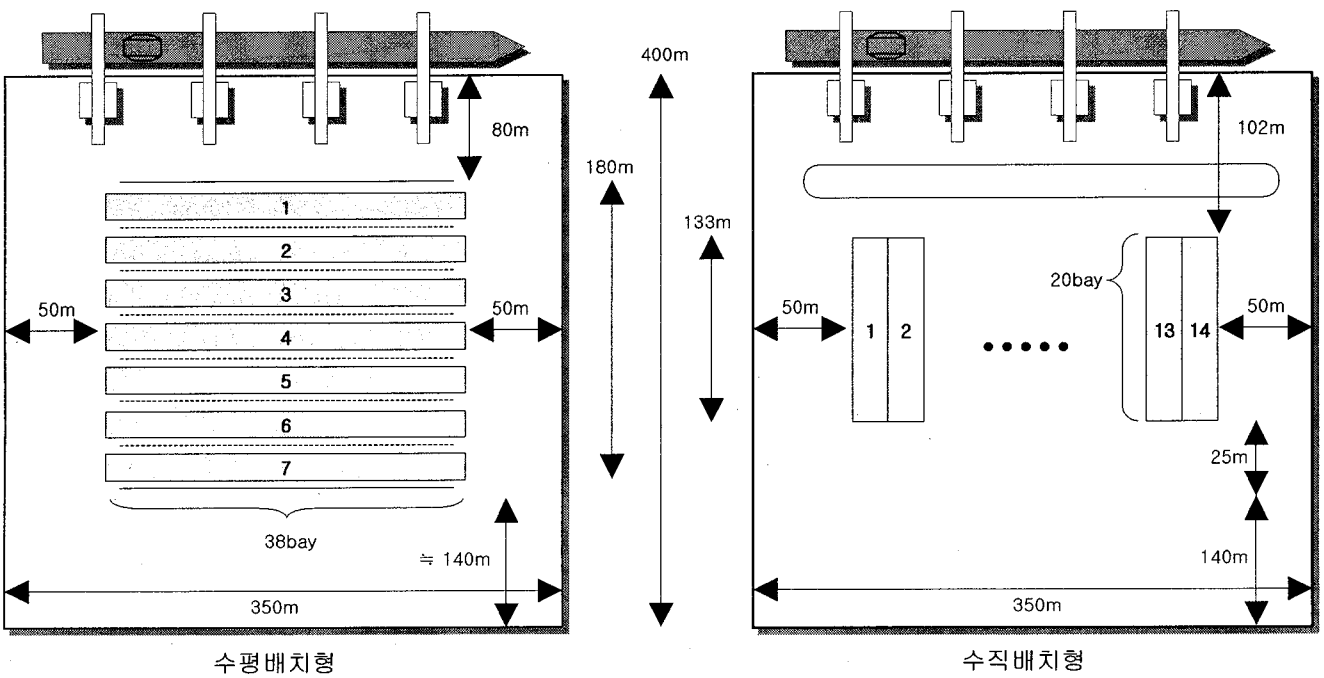
Table 3 Horizontal yard layout deign on HSS terminal

구분	설계사양
터미널 면적	안벽(350m) × 야드(400m)
시설물 공간	350m × 140m
레일스팬+회전공간	350m × 80m
장치장 가용공간	350m × 180m
장치장 설계(최대)	블록당 베이수: 38개, 블록수: 7개

블록의 개수를 기준으로 할 때 수평배치형 HSS 장치시스템은 안벽길이 350m에 야드깊이 400m의 터미널 면적에서 총 7개 블록에 최대 16개의 로더로 구성된 야드시스템으로 설계할 수 있게 된다.

4.2 수직배치형 HSS 터미널 설계

수직배치형에서는 수평배치와 반대로 블록의 베이수를 결정하는 기준은 야드의 깊이가 된다. 400m의 야드깊이에서 안벽레일스팬과 회전구간, TPrnrks을 제외하고 터미널 시설면적을 고



수평배치형 수직배치형

Fig. 5 Horizontal and Vertical of Yard Layout on HSS Terminal

려하면 약 133m의 공간에 총 24개의 베이를 구성할 수 있다.

블록의 개수는 안벽길이 350m가 기준이 되며 맨 좌우측 블록의 회전구간(50m+50m)을 제외한 250m 거리에 총 14개의 블록을 설계할 수 있다.

Table 4 Vertical yard layout deign on HSS terminal

구분	설계사양
안벽 및 야드길이	안벽: 350m, 야드: 400m
시설물 공간	350m × 140m
레일스팬+회전공간	350m × 102m
장치장 가용공간	350m × 158m
장치장 설계(최대)	블록당 베이수: 20개, 블록수: 14개

수평에서와 마찬가지로 블록의 개수를 기준으로 할 때 수직배치형의 경우 총 14개의 블록과 28개의 로더로 구성된 야드하역시스템을 설계할 수 있게된다.

4.3 HSS 설계안 비교

HSS 장치시스템에 대해 수평 및 수직의 2가지 터미널 설계안을 장치용량과 야드하역성능, 시설투자면에서 항목별로 비교하면 다음과 같다.

① 장치용량

장치용량을 비교해 보기 위해서는 2가지 설계안의 계획 TGS를 비교하면 된다. 안벽길이 350m, 야드깊이 400m의 터미널 면적에서 수평 및 수직의 경우 각각 최대 1,064TGS, 1,120TGS의의 계획 TGS가 설계가능함으로 수직배치형의 설계가 계획 TGS측면에서 다소 유리하다고 할 수 있다.

계획 TGS를 최대적재단적수인 20층으로 환산하면 장치용량의 실제량은 수평배치가 21,280TEU, 수직배치가 22,400TEU가 되므로 수직배치형 설계안이 터미널 장치공간확보면에서 수평배치에 비해 5%포인트 이상 높은 것으로 산출된다.

Table 5 TGS and Storage Capacity of Yard Layout Designs on HSS Terminal

구분	계획 TGS	장치용량	상대비교
수평배치	1,064TGS	21,280TEU	100%
수직배치	1,120TGS	22,400TEU	105%

② 야드하역능력

HSS 장치시스템의 하역성능을 결정짓는 것은 블록에 설치된 로더의 개수라 할 수 있다. 1개의 블록에는 2개의 로더가 기본적으로 설치되기 때문에 블록의 개수가 많아질수록 야드의 하역성능은 높아지게 된다고 할 수 있다.

수평의 경우 블록의 개수는 최대 7개로 총 14개의 로더가 설치되지만, 수직의 경우는 블록의 개수가 최대 14개로 28개의 로더설치가 가능하다. 따라서, 전반적으로 계획상의 설계 능력면에서는 수직배치가 수평에 비해 2개가량 높은 야드하역능력을 보유하고 있다고 할 수 있다.

Table 6 Yard Performance in terms of Design Plan on HSS terminal

구분	블록개수	로더개수	상대비교
수평배치	총 7개	14개	100%
수직배치	총 14개	28개	200%

그러나, 야드하역능력의 보유규모와는 달리, 야드하역능력을 본선작업과 반출입작업의 운영적인 지원능력면에서 살펴볼 필요가 있다.

2가지 배치안의 야드지원능력을 로더의 수와 로더의 성능 2가지에 기준하여 살펴보면, 우선 로더의 수를 기준으로 볼 때 2가지 배치안은 본선작업과 반출입작업에 대해서 동일한 수의 로더 지원작업이 가능하다. 이는 수평배치안의 경우 모든 로더가 본선작업과 반출입작업을 동시에 병행할 수 있는 구조로 되어 있기 때문이며, 수직배치안은 근본적으로 해측과 육측의 로더가 각각 분할되어 본선작업과 반출입작업을 전담하기 때문이다. 따라서, 로더의 수로만 본다면 본선작업과 반출입작업이 배타적으로 발생한다면 2가지 배치안의 야드지원능력에서 큰 차이를 보이지 않을 수도 있다.

그러나, 실질적인 야드지원능력은 로더의 수보다는 로더의 개별적인 성능에서 차이가 발생한다. 앞서 언급한 HSS 장치시스템의 입출고 성능분석에서 블록의 입출고 평균소요시간은 블록에 설치된 로더, 대차, 승강기의 평균소요시간중 최대값이 되므로 이를 감안하면, 수평의 경우 블록의 베이수가 38개(20ft 13개, 40ft 13개)로 대차의 평균왕복운행거리는 TP구간을 포함하여 약 300m에 이른다. 따라서, 대차의 평균주행속도 2.2m/s를 적용하면 1회 왕복시 136초가 소요가 된다. 승강기의 경우에는 평균소요시간이 2대의 로더를 지원하는데 평균 21.4초 밖에 걸리지 않기 때문에 수평배치안에서 각 로더의 입출고 평균소요시간은 136초가 된다.

[수평배치형 HSS]

- 로더 평균작업소요시간(T_L) = 80초
- 대차 평균작업소요시간(T_{APC}) = 136초
- 승강기평균작업소요시간(T_E) = 279.4 ÷ 26 (승강기 대수)
  = 10.7 × 2 (로더대수)
  = 21.4초
- 입출고작업평균소요시간 = Max{80, 136, 21.4} = 136초

이에 반해 수직배치의 경우는 대차의 왕복운행거리가 최대

20베이에 해당하는 130m정도로 평균 59초가 소요되며, 승강기의 경우에도 총 13대에 21.4초로 로더 2대를 지원하는데 평균작업소요시간이 43초가 걸려 로더의 80초보다 낮은 값을 가진다. 따라서, 수직배치의 경우 로더의 입출고 성능은 평균 80초가 된다고 할 수 있다.

[수직배치형 HSS]

- 로더 평균작업소요시간(T_L) = 80초
- 대차 평균작업소요시간(T_{APC}) = 59.1초
- 승강기평균작업소요시간(T_E) = 279.4 ÷ 13 (승강기 대수)
  = 21.5 × 2 (로더대수)
  = 43.0초
- 입출고작업평균소요시간 = Max{80, 59.1, 43.0} = 80초

Table 7 Yard Performance in terms of Operation on HSS Terminal

구분	본선지원	반출입지원	상대비교
수평배치	136초/회		100%
수직배치	80초/회	80초/회	59%

로더의 입출고 평균소요시간을 기준으로 보면 수직배치형이 수평배치에 비해 월등히 높은 야드지원능력을 가지고 있다. 그러나, 터미널에서의 하역작업은 야드지원능력에 의해서만 이루어지는 것이 아니라 안벽장비와 이송장비간의 연계성을 고려하여 생산성이 비교되어야 하기 때문에 단순히 상대 평가를 하기에는 다소 무리가 있다. 따라서, 그 능력의 차이는 추가적인 분석이 요구되며, 본 연구에서는 시뮬레이션을 통하여 2가지 배치안의 야드지원능력을 분석해 보았다.

③ 시설투자

시설투자규모는 HSS 장치시스템을 구성하는데 소요되는 로더의 수, 대차의 수, 승강기의 수, 랙구조물의 제원이 된다. 2가지 배치방법에 따라 동일한 장치공간을 확보한다고 할 경우에 HSS를 도입하기 위한 시설투자규모를 개략적으로 비교하면 다음과 같다.

로더와 대차의 수는 블록의 최대베이수에 따라 달라지게 된다. 수평배치 방법의 경우에 로더 2대, 대차 2를 사용하여 최대 38베이의 1개 블록을 설계할 수 있다. 이에 반해, 수직의 경우는 최대 20베이의 1개 블록만 설계가 가능하다. 따라서, 동일한 장치공간을 확보한다는 측면에서 수평과 수직의 로더 및 대차의 투자비는 1:1.9의 비율을 가져 시설투자비면에서는 수평배치안이 더 유리한 것으로 판단된다. 승강기의 수와 랙구조물에 있어서는 2가지 배치안이 근본적으로 동일한 장치공간과 적재층수를 제약조건으로 가진다면 투자비용면에서 거의 동일하다고 할 수 있다. 따라서, 동일한 규모의 장치공간을 가지는 야드시스템을 도입할 경우 시설투자면에서는 전반적으로 수평배치가 유리하다고 할 수 있겠다.

Table 8 Investments Comparison of Yard Layout Designs

구분	수평배치	수직배치
로더/대투자비	1.0	1.9
승강기/랙구조물투자비	1.0	1.0

5. 시뮬레이션 분석

앞서 살펴본 내용에서 2가지 배치안에 대한 야드지원능력은 단순히 로더의 대수로만 평가해서는 그 차이를 가늠하기에 무리가 있다. 따라서, 본 연구에서는 2가지 배차안을 대상으로 시뮬레이션을 수행하여 하역생산성을 비교해보았다.

5.1 시나리오 구성

분석 시나리오 구성은 우선 앞서 설계한 2가지 배치안이 기본적인 대상이며, 터미널의 하역시스템의 여건을 반영한 생산성 산출을 위해 안벽과 이송 및 반출입 작업을 고려하였다.

① 안벽작업

안벽에서 하역작업은 C/C에 의해 이루어지며 하역작업물량은 C/C의 대수에 따라 달라지게 된다. 보통, 1개 선석에 3대의 C/C가 작업하는 것이 보통이며, C/C의 대수가 많아질수록 야드에서의 작업부하는 높아지게 된다. 2가지 배치안의 야드지원능력이 산출적으로 1.7개 가량 차이가 발생함으로 C/C의 대수 시나리오에서도 3대에서 6대까지 투입하는 것으로 하였다.

② 이송작업

이송작업에는 C/C에 투입되는 이송장비의 대수를 결정할 필요가 있는데 야드지원능력의 차이를 확인하기 위해서는 이송능력이 어느 정도 충분해야 하므로 C/C당 4~5대를 배정한다. 이송장비의 주행속도는 평균주행속도를 배치안별로 달리하여 적용한다. 수평배치안의 경우 운행거리상에서 회전구간비율이 낮아 주행속도에 있어서 수직배치안보다 유리하기 때문이다. 수평배치 5m/s, 수직배치 3.8m/s를 적용한다.

③ 반출입작업

외부트럭의 반출입 작업은 터미널의 일일 도착 트럭분포를 적용하며, 게이트의 서비스시간을 추가로 고려하여 입구서비스소요시간 110초, 출구서비스소요시간 20초로 설정하고 일일발생 트럭수는 758대로 하였다.

④ 야드작업

야드의 하역작업의 순서는 이송장비와 외부트럭의 블록 도착순서대로 처리하는 FCFS를 원칙으로 하며, 차량의 서비스에

소요되는 시간은 수평과 수직배치에서 산출된 로더의 평균입출고소요시간인 각각 136초, 80초를 적용한다.

5.2 결과 분석

시뮬레이션 분석에서는 C/C의 작업물량 할당은 균등배분(balance)과 임의배분(random)의 2가지 방법을 사용하여 결과를 산출하였다. 분석결과를 C/C당 이송장비의 대수를 기준으로 정리하면 다음과 같다.

① C/C당 이송장비 4대 투입한 결과

C/C당 이송장비를 4대씩 투입한 결과 C/C의 생산성과 외부트럭의 체류시간을 산출한 결과는 다음과 같다.

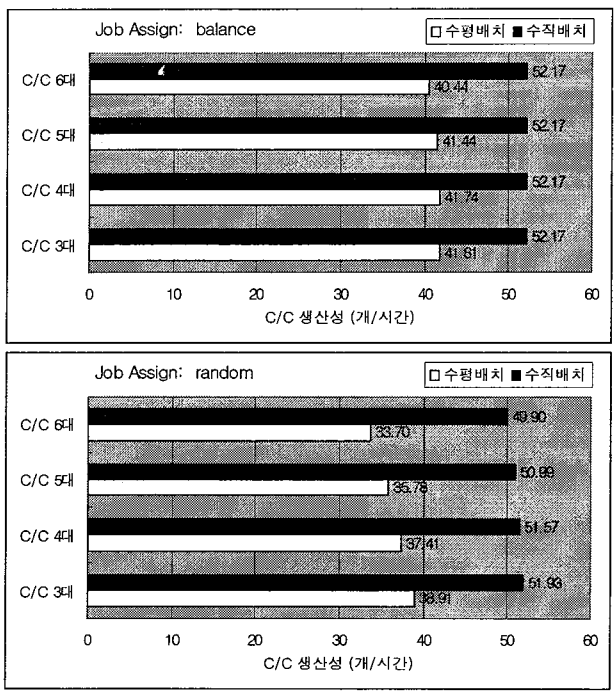


Fig. 6 Net C/C Productivity with 4 vehicles per C/C

산출결과에서 수평배치의 경우는 C/C의 생산성은 각각 3대(41.74개/시간), 4대(41.81개/시간), 5대(41.44개/시간), 6대(40.44개/시간)으로 안벽의 작업부하가 높아질수록 C/C의 작업생산성이 다소 낮아지는 현상을 보였다. 수직배치의 경우는 3대~6대에 모두 52.17개/시간으로 장비의 성능 최고치에 이르는 작업생산성을 보였다.

블록의 작업할당 방법에서는 균등배분에 비해 임의배분시에 2가지 배치안의 C/C 생산성차이는 더 커지는 것으로 나타났다. 임의배분방법은 물량이 블록별로 불규칙하거나 불균형하게 발생하는 것으로 수직배치가 수평배치에 비해 작업물량의 부하와 배분 불균형에 더 유리한 점을 보여주는 것이라 할 수 있다.

외부트럭의 터미널 체류시간의 결과에서도 2가지 배치안은 현격한 차이를 보였다. 수평배치가 전체 평균 540초의 체류시간을 가지는 반면, 수직배치의 경우에는 347초로 터미널 체류시간에서도 수평에 비해 40%포인트 낮은 값을 보이는 것으로 나타났다.

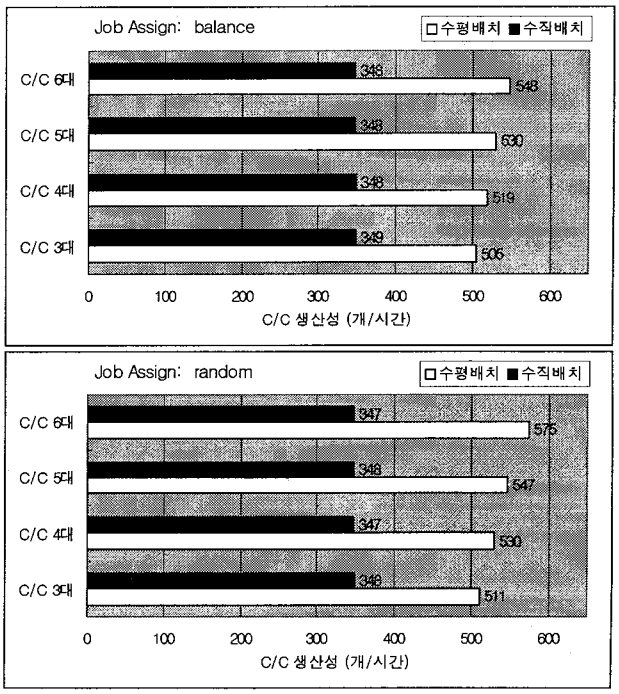


Fig. 7 Truck turnaround time with 4 vehicles per C/C

C/C당 이송장비를 4대 투입할 결과를 정리하면 수평배치에 비해 수직배치가 C/C의 작업생산성면에서 32%포인트, 외부트럭 체류시간면에서 35%포인트 정도 우수한 것으로 나타났다.

Table 9 Comparison of C/C Productivity and Truck turnaround time for two yard layout(4 vehicles)

구분		수평배치	수직배치	수직-수평
C/C 생산성	balance	41.36	52.17	+26%
	random	36.45	51.10	+40%
	평균	38.91	51.63	+32%
트럭 체류시간	balance	525	346	-34%
	random	541	347	-36%
	평균	533	347	-35%

② C/C당 이송장비 5대 투입한 결과

C/C당 이송장비를 5대씩 투입하는 것은 4대에 비해 이송장비의 능력을 높이는 것으로 야드시스템 낮은 능력을 보완하여 C/C의 작업생산성을 높이는 역할을 하게 된다.

C/C의 생산성과 외부트럭의 체류시간을 산출한 결과를 보면, 수평배치의 경우에는 이송장비의 능력보완으로 C/C의 작업생산성이 C/C당 4대를 투입하는 경우에 비해 전체평균보다 17%

포인트 높아진 45.48개/시간의 C/C 작업생산성을 보이는 것으로 나타났다. 이에 비해, 수직의 경우에는 1%포인트 정도의 C/C 생산성 향상값을 보여 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

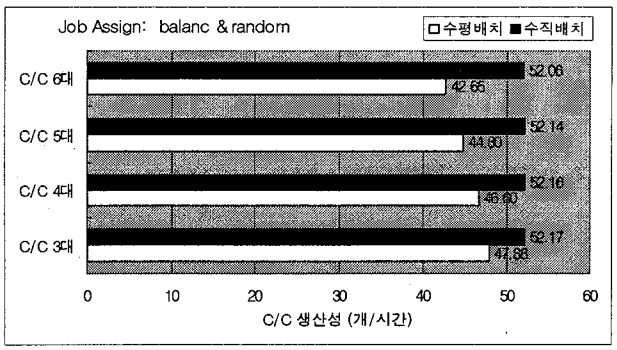


Fig. 8 Net C/C Productivity with 5 vehicles per C/C

외부트럭의 체류시간에서는 수평배치의 경우 C/C당 4대의 이송장비를 투입하는 경우보다 소요시간이 2%포인트 가량 증가한 것으로 나타났으나 수직배치의 경우는 이송와 외부트럭의 작업이 원천적으로 분리되어 있기 때문에 외부트럭의 체류시간에는 변화가 없었다.

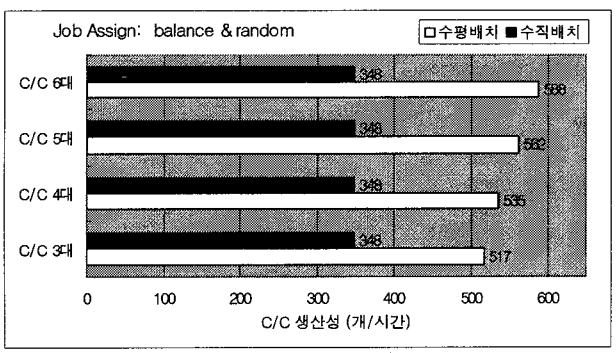


Fig. 9 Truck turnaround time with 5 vehicles per C/C

C/C당 이송장비를 5대 투입하는 경우의 결과를 정리하면 수직배치가 수평보다 C/C의 생산성 측면에서 +15%포인트 높게 나타났으며, 외부트럭 체류시간면에서 37%포인트 낮은 것으로 분석되었다.

Table 10 Comparison of C/C Productivity and Truck turnaround time for two yard layout(5 vehicles)

구분		수평배치	수직배치	수직-수평
C/C 생산성	balance	48.74	52.17	+7%
	random	42.23	52.10	+23%
	평균	45.48	52.13	+14.6%
트럭 체류시간	balance	539	348	-35%
	random	561	348	-38%
	평균	550	348	-37%

6. 결 론

컨테이너 터미널의 부족한 장치공간을 해소하고 야드시스템의 생산성을 높이기 위해 HSS 장치시스템은 좋은 대안이 될 수 있다. HSS 장치시스템은 기존의 RTGC/RMGC의 야드시스템과는 달리 장치장의 설계형태에 따라 장치용량과 하역능력의 수준이 결정되는 시스템이라 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 HSS 장치시스템의 2가지 설계형태인 수평배치와 수직배치안에 따른 HSS 장치시스템의 장치용량과 하역능력을 분석해 보았다. 연구의 결과에서 HSS 장치시스템은 장치용량과 하역능력면에서 수직배치형이 우수한 것으로 평가되었으며, 시설투자면에서는 수평배치형이 다소 유리한 것으로 분석되었다. 시뮬레이션 분석에서는 C/C 생산성과 외부트럭 체류시간을 산출하여 2가지 배치안에 대한 하역능력을 구체적으로 분석해 보았다. 그 결과 수직배치안이 C/C 생산성 측면에서 수평배치안에 비해 14.6~32%포인트 높은 것으로 나타났으며, 외부트럭 체류시간에서도 35~37%포인트 짧게 소요되어 전체적으로 수평배치형에 비해 수직배치형의 야드하역시스템 설계안이 우수한 대안임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Liu C.I., Jula H., Vukadinovic K.(2004), Automated guided vehicle system for two container yard layout, Transportation Research Part C 12, pp.349-368.

[2] Yvo A. Saanen, Margaret V. Valkengoed(2005), Comparison of three automated stacking alternatives by means of simulation, Proceddings of the 2005 Winter Simulation Conference, pp.1567-1576.

[3] 김갑환, 원승환, 양창호, 김영훈, 배종욱(2001), "시뮬레이션을 이용한 자동화 컨테이너 터미널 레이아웃의 평가", 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, pp.418-421.

[4] 전수민, 김갑환, 류광렬(2005), "시뮬레이션을 이용한 수평배치 컨테이너 터미널의 레이아웃 설계", 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, pp.44-51.

[5] 최용석, 하태영(2005), "컨테이너터미널의 장치장 레이아웃 설계방법", 한국항해항만학회 제29권 제8호, pp.741-746.

[6] 하태영, 최상희, 김우선, 최용석(2006), "컨테이너 터미널의 고층 장치시스템 개발방안", 한국항해항만학회 제30권 제1호 춘계학술대회논문집, pp.317-323.