

# 차세대항만 대응을 위한 고효율 야드시스템의 개발 연구

## A Study on High-Efficiency Yard Handling System for Next Generation Port

최상희\* · 하태영\*\*

Choi, Sang Hei · Ha, Tae Young

---

### 〈목 차〉

---

- I. 서 론
  - II. 항만환경의 변화와 고효율 항만의 필요성
  - III. 고효율 야드하역시스템 개발 방안
  - IV. HSS를 적용시 효과 분석
  - V. 결 론
- 

**Abstract :** The objective of this paper is part of technology development effort to develop a next generation port handling system for accommodating mega-sized container ships. It aims to develop the High Stacking System (HSS) that maximizes handling capacity within the limited space of the port. The system is expected to resolve the problem of yard space shortage as well as utilize innovative technology to ensure high-performance and automation at the terminal so as to enhance container terminal productivity. The HSS, to be applied to both conventional and new terminals, is expected to act as a catalyst for enhancing the value-added at ports.

In this paper, we consider stevedoring equipment system of container terminal and analyzed terminal simulation for Elevator&Traverser, Automated Platform Car, Loaders of storage system at HSS. The end result of analysis is suggesting the design concept drawing of the HSS terminal and this design concept will be used as base data for basic design and detailed design in actual operations of the terminal in the

---

\* 한국해양수산개발원 책임연구원

\*\* 한국해양수산개발원 연구원

future.

**Key Word** : HSS(high stacking system), stevedoring system, elevator& traverser, APC(Automated Platform Car), loader, simulation

## I. 서 론

컨테이너물동량의 지속적인 증가와 컨테이너선의 초대형화, 해상 및 육상운송의 복합화 추세에 대한 차세대 항만의 대응방안이 요구되는 시점에 다다랐다.

이중 세계적인 교역규모의 확대와 화물을 운송하는 선박의 초대형화로 인하여 이에 대응하는 선진항만의 발걸음도 빨라지고 있다. 해외 선진항만인 네덜란드, 독일, 싱가포르, 중국 등은 항만여건의 급격한 변화에 대응하기 위하여 첨단화, 자동화, 고생산성을 추구하는 항만기술개발을 지속적으로 수행해 오고 있다.

현재 초대형선이 기항하기 위해서는 기존의 항만하역시스템보다 한층 더 발전된 저비용, 고효율을 통한 첨단 지능형 항만하역장비 및 관련 시스템 개발이 필수적인 것으로 인식되고 있으며 국내에서도 이러한 상황에 발맞추어 국가기술개발 과제로서 관련제품의 개발을 추진하고 있는 상황이다.

이제까지의 항만관련 국내 기술개발이 대부분의 분야에서 선진국의 첨단기술을 받아들였다면 향후 국내 기술개발 방향은 독자적인 기술로서 세계적인 항만관련 첨단기술을 선도해 나가야 할 때이다.

따라서 미래의 항만에 대비하기 위하여 고성능 하역, 선박 대형화, 재항시간 단축, 대용량 장치 등의 요구사항에 부합하는 차세대 첨단 컨테이너 하역시스템 기술 개발이 필요하다고 하겠다.

세계적인 중추항만이 되기 위해서는 무엇보다도 고효율, 고생산성을 가진 첨단항만이 되어야만 주고객인 선사의 요구에 부응할 수 있고 기업의 가치창출을 위한 역할을 수행할 수 있을 것이다.

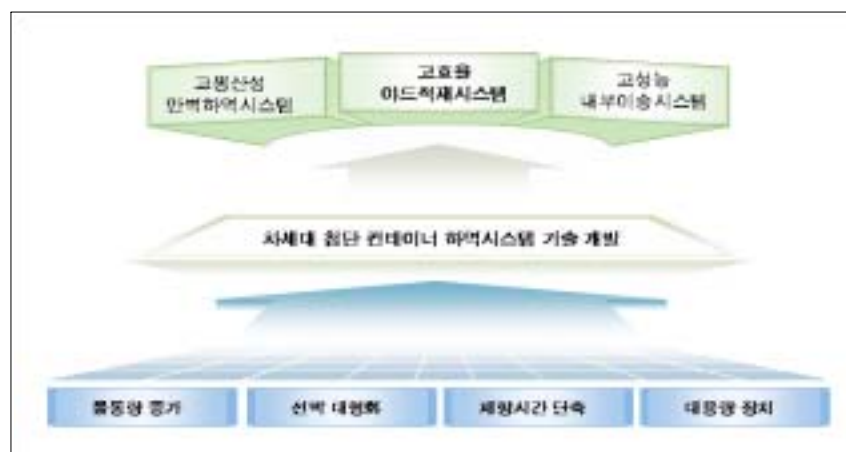
고효율, 고생산성 항만을 개발하기 위해서는 항만의 효율화적인 측면에서 초대형선 입항시 이를 안벽에서 적절하게 서비스해줄 수 있는 고효율 안벽장비의 개발, 안벽에서의 처리되는 물동량을 원활하게 적재 및 장치 가능토록 할 수 있는 고효율 야드적재시스템의 개발, 안벽과 야드장치장과의 연계를 효율적으로 수행할 수 있도록 하는 고성능 내부이

송차량의 개발이 필수적이다. 이중 컨테이너 터미널의 물류흐름에 있어 병목현상이 발생할 가능성이 가장 많고 경제적 절감가능성이 가장 높은 야드적재시스템의 개선을 최우선 연구주제로 선정하였다.

터미널의 장치장과 관련한 기존의 연구는 장치장의 효율적인 운영을 위한 연구들이 대부분이며, 일부 장치장의 배치형태에 관한 연구들이 있었다.

장치장 운영에 관련한 연구들로 자동화터미널의 구성과 운영방식에 따른 시뮬레이션 연구(장성용, 용운중, 1999), 버퍼 장치장의 장비규모 결정 연구(배종욱, 2001), 자동화터미널 운영시뮬레이션 연구(왕승진, 2002), 수출장치장 공간할당 연구(김갑환, 1999), 수출컨테이너 장치위치 결정 연구(김갑환, 1996), TC 반출입 작업순서 결정연구(이경모, 1999), 장치장 이적 운영규칙 연구(윤원영, 2003), 버퍼 야드 시뮬레이션 연구(배종욱, 2003), 야드크레인 작업스케줄링 연구(W.C. Ng, 2005) 등이 있었으며, 장치장의 배치형태를 다룬 연구에는 수평과 수직장치장 배치형태의 효율성을 다룬 자동화터미널 레이아웃평가 방안 연구(김갑환, 2001), AGV 운영효율성 연구(Chin-I. Liu, 2004)가 있었으며, 그 외 야드하역 장비로 SC(Shuttle carrier)에 관한 연구가 있었다(Lazar N. Spasovic, 2001).

〈그림-1〉 차세대 첨단 컨테이너 하역시스템 기술 개발



이상의 기존 연구들은 대부분이 수평 또는 수직배치형태의 장치장 구조에 장치단적수 5단 내외의 TC시스템 또는 SC시스템을 주 대상으로 하고 있어 고단적 야드시스템에 관한 연구는 거의 미흡한 실정이다.

이에, 본 연구에서는 야드시스템의 개선을 통한 생산성 향상과 획기적인 부지절감을 달성할 수 있는 고효율 야드적재시스템에 대하여 연구해 보았다.

## II. 항만환경의 변화와 고효율 항만의 필요성

### 1. 항만환경의 변화

항만을 중심으로 해운과 물류환경이 급속하게 변화하고 있다. 각국간의 교역량 증대에 따라 세계 컨테이너 물동량의 변화, 규모의 경제 실현을 위한 컨테이너 선박의 선형 변화, 항만에서 고객의 요구만족을 위한 선박 재항시간의 변화, 점점 증가되는 안벽생산성을 원활히 처리하기 위한 컨테이너 터미널 장치용량의 변화 등 항만 내외부적으로 다양한 변화들이 발생하고 있다.

#### 1) 동북아 컨테이너물동량의 변화

지난 10년간 국가교역에 있어 화물의 컨테이너화가 상당히 진행되어 왔고 오늘날 전 세계 100여 개의 항만에서 연간 약 4억 개의 컨테이너가 처리되고 있다.

DSC(2005)에 의하면 세계 컨테이너 물동량의 증가율은 향후 10년 동안 연평균 10% 내외 증가될 것으로 예측되고 있으며 이중 동북아지역의 컨테이너 물동량 증가세는 2003년 20.1%, 2004년 17.9%로서 향후 증가율은 둔화될 것으로 전망되나 2010년까지 연평균 13.4%의 높은 증가

세를 보일 것으로 예측하고 있다.<sup>1)</sup>

<표-1>을 참조하면 2001년 세계에서 동북아지역의 컨테이너 물동량이 차지하는 비율이 30%에서 향후 2010년에는 2억 3천 8백만TEU로서 전 세계 교역량의 38%를 차지할 것으로 예측하고 있다.

<표-1> 세계 및 동북아 컨테이너 물동량 전망

구 분	2001년	2010년
세계	2억 4,700만TEU	6억 2,700만TEU 전망
동북아	7,500만TEU	2억 3,800만TEU 전망
비율(%)	30.36	37.96

주 : 동북아 지역은 중국(홍콩 포함), 일본, 한국, 대만, 극동러시아, 북한을 의미함.  
 자료 : Drewry Shipping Consultants Ltd, The Drewry Annual Container Market Review and Forecast, 2005.6

세계적으로 동북아지역의 컨테이너 물동량이 차지하는 비율이 높아짐에 따라 그 중요성도 매우 높아지고 있으며 동북아 중심항만을 위한 경쟁도 치열해질 전망이다.

## 2) 컨테이너선박의 선형 변화

컨테이너 물동량의 증가추세에 따라 운송을 담당하는 컨테이너선의 규모도 급격하게 변화되고 있다. 1980년대 4천TEU급 선박에서 1990년대 6천TEU급 선박, 그리고 2000년에 들어서는 8천TEU급 선박이 출현하고 있다.<sup>2)</sup>

컨테이너선의 대표적인 발주현황을 살펴보면 2005년 초에 Seaspan사가 9천 1백TEU 10척, 현대중공업에서 1만TEU급 4척, 대우조선해양이 Conti Reederei와 CMA CGM로부터 각각 1만TEU급 4척을 수주하였으

1) Drewry Shipping Consultants Ltd, The Drewry Annual Container Market Review and Forecast, 2005.6

2) BRS-Alphaliner의 자료에 의하면 2005년 3월 기준으로 7천5백TEU급 이상의 선박이 50척이 운항되고 있으며 발주현황도 178척에 이를 정도로 컨테이너선의 대표선형이 높아지고 있는 추세에 있음.

며, 향후 초대형선의 출현에 대비하여 1만 2천TEU급 건조기술을 확보하고 있는 상황이다.<sup>3)</sup>

이러한 컨테이너선의 대형화 추세는 곧 컨테이너 항만시설의 대형화를 유도하는 원인으로 작용하고 있다.

### 3) 선박 재항시간의 변화

컨테이너 선박의 재항시간은 크게 부두에 접이안하는 시간과 하역작업에 소요되는 시간으로 구분할 수 있는데 일반적으로 접이안에 소요되는 시간은 선박의 규모에 크게 영향을 받지 않으나, 하역작업시간은 선박의 처리물량과 하역장비의 생산성에 따라 달라지게 된다. 특히, 선박을 운항하는 선사는 선박의 회전율을 높이기 위해 운항시간의 상당부분을 차지하는 하역작업시간을 단축할 수 있는 고생산성의 터미널 기항을 선호하고 있으며, 이러한 고생산성의 터미널은 안벽하역생산성 외에도 이를 지원하는 야드하역시스템의 개선에 주력하고 있다.

### 4) 터미널의 장치용량 변화

대부분의 컨테이너 터미널 장치장 구조는 4단 6열로 설계되어 있으며, 이러한 장치장 설계형태는 해외의 대다수 터미널에서도 이전까지 일반화된 설계형태였다.

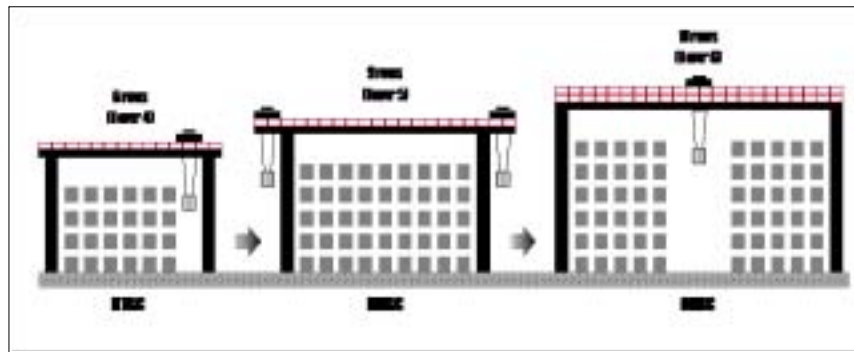
그러나, 컨테이너 물량 증가와 선박의 대형화, 기항지 축소, 환적화물의 증가 등이 복합적으로 작용하면서 일시 하역물량이 대폭 증가하여 기존 터미널의 컨테이너 장치공간의 확장, 환적을 위한 장치기간의 연장 등 고객에 대한 서비스 요구를 증대시키는 결과를 초래하였다.

이에 터미널에서도 장치면적의 확장을 위해 부지확장, 배치안 변경, 블록구조 변경 등의 다양한 관점에서 설계구조를 변화시켜왔으며 더 나아가 새로운 야드하역시스템을 도입하기에 이르렀다(<그림-2>, <그림-3>, <그림-4> 참조).

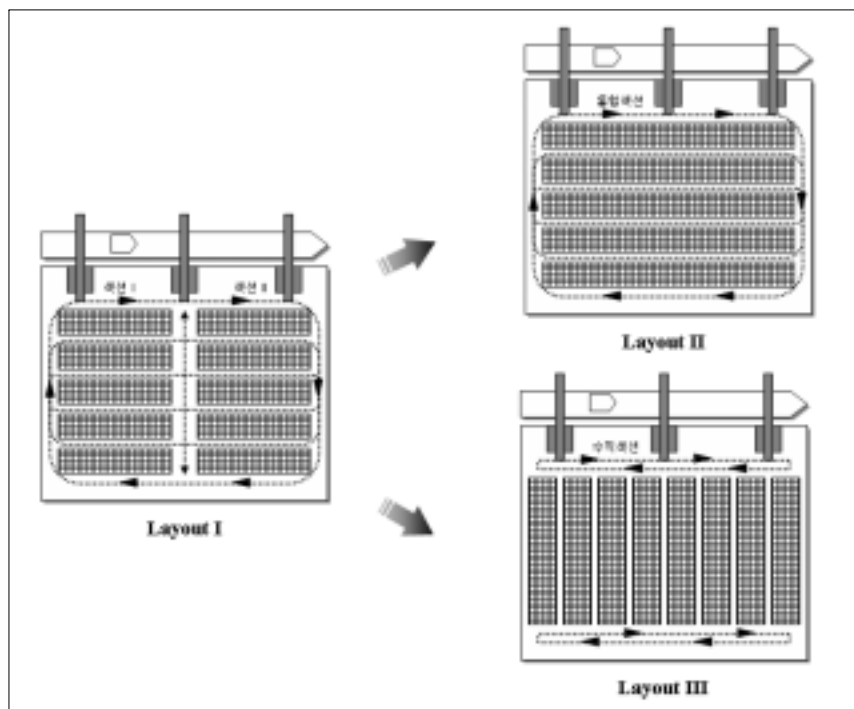
---

3) 삼성중공업

〈그림-2〉 장치블록 및 야드장비 변화 추세

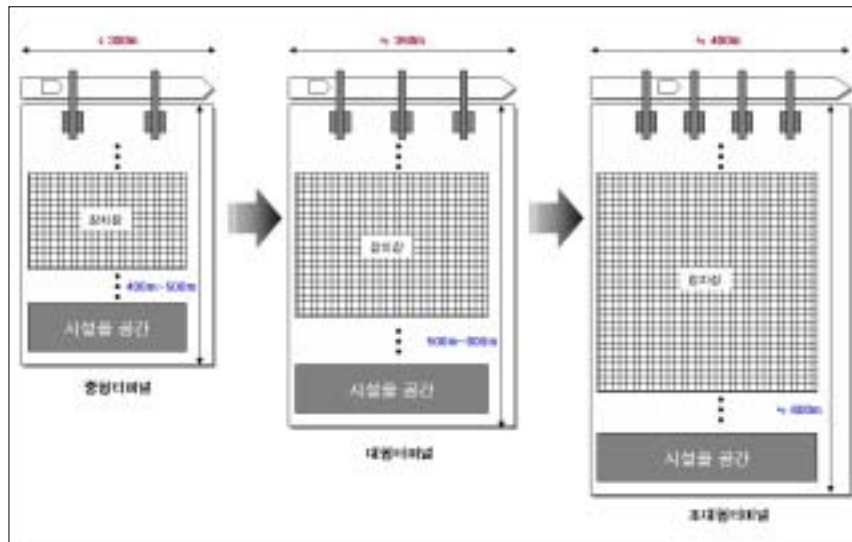


〈그림-3〉 터미널 장치장 배치안 변화 추세





〈그림-4〉 터미널 부지면적의 변화(안벽길이, 야드깊이)



그러나, 대부분의 기존 터미널은 여건상 부지면적의 확장이 용이하지 않은데다 이에 막대한 비용이 소요되고, 장치단적 및 열수를 증가시키는 방법 또한, 야드의 생산성 저하를 가져올 수 있어 신중한 검토가 이루어지고 있다.

## 2. 고효율 항만계획의 필요성

### 1) 하역시스템 개선을 통한 항만의 생산성 증대

세계적으로 항만관련 부분에서는 향후 장래를 대비하여 항만시설의 계획 단계에서부터 중심항만의 위치를 선점하기 위한 치열한 경쟁을 벌이고 있다.

이러한 요인은 항만하역시스템을 구성하고 있는 하역장비와 터미널 내 운송 및 연계, 그리고 항만 배치계획 등의 측면에서 볼 때 과거와는 달리 고효율의 최적화된 터미널 계획에 영향을 미치고 있다.

현재 운영되고 있는 대부분의 주요 컨테이너 터미널에서는 선박 재항 시간당 100~125개의 컨테이너가 처리되고 있으나 1만 5천TEU급의 초대형선이 기항을 하게 된다면 선박당 요구생산성은 280~420개에 이르게 되므로<sup>4)</sup> 이에 대응하기 위한 항만의 생산성 증대는 필수적이라 할 수 있다. 또한 TOC(2004) 자료에 따르면 향후 초대형선의 등장으로 전세계 12~13개의 중심항만이 6~7개로 축소될 것으로 예상하고 있다.<sup>5)</sup>

이러한 상황들을 고려하여 보았을 때 초대형선의 기항이 물류중심항만의 필요조건이 될 수밖에 없으며 이에 적절하게 대응하지 못하면 지역항으로 전락할 수밖에 없는 상황에 이를 수도 있다. 따라서 물류중심항의 위치를 선점하기 위해서는 초대형선의 등장에 적절하게 대응할 수 있는 항만능력이 갖추어져야 한다.

현대적인 의미에서 항만의 능력은 안벽에서의 처리능력뿐만이 아니라 안벽에서 발생하는 물동량을 야드에서 충분하게 처리할 수 있도록 뒷받침해주어야 한다. 이는 결국 항만에서의 처리능력이 야드처리 능력으로 결정되어질 수도 있다는 것을 의미하는 것이다. 터미널의 능력은 터미널 에이프런과 야드의 배치계획, 안벽-야드-게이트 간의 영역간 이송 및 연계방안, 소요 하역장비의 요소와 같은 적절한 항만하역시스템의 구성에 따라 좌우된다.

초대형선의 등장이 이루어져도 선사들은 항만에서 동일한 서비스 시간을 요구하게 되며 화주들은 비용을 감소시키는 운송서비스 및 항만운영서비스를 요구하게 되므로 고생산성의 안벽처리능력이 필요하다. 그러나, 차세대 컨테이너 터미널은 안벽에서의 생산성뿐만이 아니라 야드에서도 안벽물동량을 충분하게 처리할 수 있는 야드하역시스템이 뒷받침되어야만 가능한 것이다.

이는 장래 건설될 컨테이너 터미널의 능력이 안벽능력만으로 결정되는 않으며 야드시스템의 능력까지 고려해야 한다는 것을 의미한다. 따라서, 컨테이너 터미널에서 가장 잦은 병목이 발생하는 야드하역시스

4) 한국해양수산개발원, 초대형 컨테이너선 운항에 대비한 차세대 항만하역시스템 기술개발 전략 연구, 2002.12

5) Dr.G.De Monie, "The Next Generation of Terminal Capacity", TOC 2004, 2004.

템의 첨단설계, 고집적화, 고효율화를 추구하는 전용터미널의 필요성은 더욱 커지고 있는 실정이다.

## 2) 고성능 하역시스템 개발

2002년도 DSC(Drewry Shipping Consultants) 자료에 의하면 세계 100만TEU급 이상을 처리하는 컨테이너 터미널 중 RTGC(Rubber Tyred Gantry Crane)시스템이 51.4%로 가장 높게 나타나고 있고, SC시스템이 24.8%, RMGC(Rail Mounted Gantry Crane)시스템이 9.4%, OHBC (Over Head Bridge Crane)시스템이 1.1%로 나타나고 있다.<sup>6)</sup> 향후 초대형선의 등장, 점차 대형화되는 항만의 추세와 자동화, 고효율을 추구하는 야드 적재 및 하역시스템으로 인해 향후 신규터미널에 RTGC의 적용빈도는 줄어들 것으로 예상된다.

SC(Straddle Carrier)시스템의 경우 유럽 쪽에서 대부분 사용되고 있으며 기동성은 좋으나 고단적, 광폭의 야드적재를 추구하는 터미널에는 적절하지 않은 방식이다.

한편, Cargo Systems에서 발표된 세계 장비제작회사의 발주현황을 보면 1999년에 RTGC 95%, RMGC 5%에서 2000년 RTGC 84.9%, RMGC 15.1%, 2002년 RTGC 81.2%, RMGC 18.8%로 매년 RMGC의 발주가 늘어나고 있는 상태이다.<sup>7)</sup> RMGC시스템은 항만의 대형화에 대응하기 적합하고, 고용량, 고효율의 야드하역 및 적재시스템, 자동화의 용이함을 갖추고 있어 차세대 야드하역시스템으로 자리잡아가고 있다.

국내 대부분의 컨테이너 터미널 하역시스템은 C/C-YT-RTGC로 연계되는 하역시스템을 채택, 운영하고 있으며 25년여 전에 국내 최초로 운영되었던 BCTOC의 경우 당시 국내 환경을 감안하여 SC, RTGC시스템을 겸용하여 사용하였다. 그 후 터미널의 하역시스템은 세계 무역환경의 변화, 주변여건, 대상선박에 관계없이 모두 RTGC시스템으로 운영되어 왔다.

6) Drewry Shipping Consultants, Global Container Terminal, 2002.10

7) Cargo Systems, 각호, 2000-2003

현재, 국내의 부산항과 광양항에서 운영되거나 계획 중인 총 15개 터미널 중 RTGC시스템이 9개, RMGC시스템이 6개로서 RMGC시스템의 채택이 점차 늘어나고 있으며 향후 국내에 건설되는 대형터미널의 경우 RMGC시스템을 채용한 반자동화 및 자동화 터미널을 개발할 예정이다.

세계적으로 항만하역시스템은 향후 컨테이너와 일반 벌크화물에 있어 대량화물 취급, 고속화, 자동화 및 기계화를 요구하고 있어 전통적인 하역시스템에서보다는 새로운 개념의 하역시스템 개발과 그 기능이 요구되고 있다. 따라서, 세계의 선진항만들은 항만의 초대형화, 통합화, 자동화, 기계화를 연구·개발하고 있으며 이를 넘어 여러 측면에서 효율적이고 미래 지향적인 터미널시스템을 개발하고 있다.

이상의 국내외의 하역시스템 변화추세에서 미래의 컨테이너 터미널은 안벽에서부터 야드적재, 나아가 배후운송시스템까지 원활한 컨테이너 흐름과 높은 생산성을 가지는 신개념의 하역시스템을 요구하고 있다고 할 수 있다.

### 3) 부지비용 절감과 부지이용의 효율화

「전국 무역항 기본계획」(2001.10., 해양수산부)에 따르면 2011년까지 컨테이너 터미널의 개발규모는 4천TEU급 이상이 56선석, 2천TEU급 이상이 41선석에 이르며 2020년까지 4천TEU급 이상 선석이 총 117선석, 2천TEU급 이상 선석은 총 70개 선석이 필요한 것으로 나타났다.

4천TEU급 이상 선석의 길이를 선석당 350m로 할 경우 2020년까지 총 소요되는 안벽의 길이는 41km, 2천~2천 5백TEU 선석의 길이를 선석당 220m로 할 경우 2020년까지 소요되는 안벽연장은 총 15.4km에 이른다.

<표-2>는 국내에서 계획 중인 컨테이너 터미널의 부지면적 중 에이프런, 야드, 기타시설물 등 각 영역별 면적을 나타낸 것이다.

특히, 중형터미널의 경우 대형터미널에 비하여 야드면적의 비율은 적고 에이프런과 기타 시설면적의 비율이 높다. 이는 터미널의 규모가 작더라도 안벽장비를 포함하는 에이프런 영역과 건물들을 포함하는 기타

시설영역의 절대적인 면적이 소요되기 때문이다.

일반적으로 국내에서 계획 중인 항만 중 선석당 안벽길이 350m 이상의 컨테이너 터미널의 야드비율은 터미널 면적 중 약 60% 내외를 차지하며 4개 선석을 보유한 컨테이너 터미널의 경우 소요 야드면적은 약 50만㎡, 야드깊이는 약 363m에 이른다(<표-2> 참조).

2020년까지 소요되는 4천TEU급 이상의 안벽길이가 41km, 야드깊이가 0.363km라면 야드를 위해 필요한 총 소요면적은 약 14.9km<sup>2</sup>에 이른다. 또한 2천TEU급 이상의 안벽길이가 15.4km, 이에 따른 야드깊이가 약 0.175km 내외로서 총 소요면적은 2.7km<sup>2</sup>이 될 것으로 예상된다.

<표-2> 컨테이너 터미널의 영역별 규모

구 분	중형		대형			
	Case1	Case2	Case1	Case2	Case3	Case4
터미널능력 (선석당능력)	65만TEU (22.0만)	52만TEU (20.0만)	112.5만TEU (37.5만)	150만TEU (37.5만)	187.5만TEU (37.5만)	112.5만TEU (37.5만)
하역시스템	RTGC	RTGC	RMGC	RMGC	RMGC	ATC
터미널면적(㎡)	308,000	400,000	630,000	840,000	1,050,000	630,000
에이프런면적 (㎡)	62,401 (20%)	75,500 (19%)	81,585 (13%)	108,780 (13%)	135,975 (13%)	122,850 (20%)
야드면적(㎡)	153,490 (50%)	172,400 (43%)	380,415 (60%)	508,060 (60%)	636,825 (61%)	337,575 (54%)
기타시설면적 (㎡)	92,109 (30%)	152,100 (38%)	168,000 (27%)	223,160 (27%)	277,200 (26%)	169,575 (27%)
안벽길이(m)	826.5	1,000	1,050	1,400	1,750	1,050
터미널깊이(m)	372	400	600	600	600	600
에이프런깊이(m)	75.5	75.5	77.7	77.7	77.7	117.0
야드깊이(m)	185.1	172.4	362.3	362.9	363.9	321.5
시설물깊이(m)	111.4	152.1	160.0	159.4	158.4	161.5

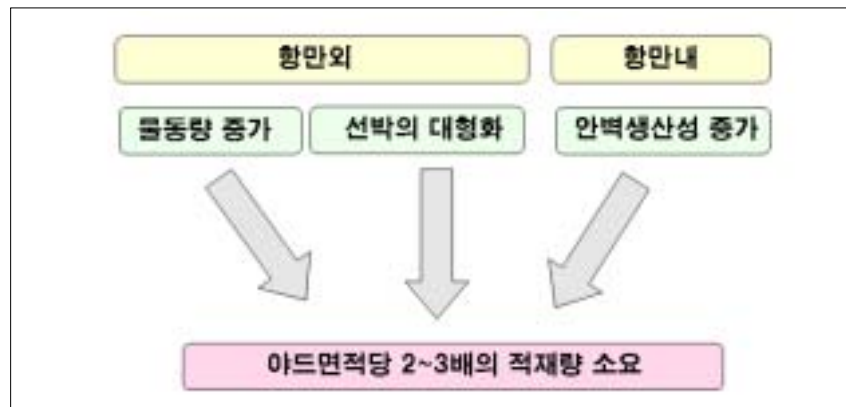
주 : 1. 중형터미널의 경우 Case1은 현재 운영터미널이며 Case2는 계획중인 터미널임  
2. 대형터미널의 경우 현재 계획중인 아시아 대형항만의 규모를 나타낸 것임

국내 항만의 경우 대부분 해안매립으로 건설되고 있으며 기존 항만의 개발 및 건설로 인한 양호한 항만부지가 점점 더 줄어들고 있는 상황이다. 이는 향후 2020년까지 항만으로서 양호한 해안길이가 56.4km가 필요한 실정이고 그에 따른 야드부지 확보와 매립 및 건설비용도 많이 발생할 것으로 예측된다.

이와 더불어 항만매립으로 인한 환경 비용 증가와 더불어 최근 갯벌 등 해양환경의 국민적 관심이 고조되고 이에 따른 연안역 보전 정책상 공유수면 매립허가 규모가 크게 줄어들고 있다. 또한 매립을 위한 토취장의 확보도 어려워 매립재 확보를 위해 항만개발지역과 상당히 먼 거리를 이동하는 등 항만 건설을 위한 공사비 증가도 예상된다.

이러한 점들을 고려해 보았을 때 컨테이너 터미널에서의 하역시스템 개선을 통한 부지절감은 절실한 과제라 할 수 있다.

〈그림-5〉 물동량 증가에 따른 야드면적의 물리적 관계



대부분의 터미널 운영자들은 항만부지의 부족으로 보다 높은 토지이용률을 달성하는 데 주력하고 있다. 이에 따라 초기의 On-Wheel 시스템(1단적)→SC시스템(2단적)→RTGC시스템(4~5단적)→RMGC시스템(5~6단적)→OHBC시스템(8단적 이상) 등 야드적재시스템의 고단적화

를 적용하고 있다.

또한, 야드하역장비의 폭도 초기 SC의 1열에서 RTGC 6열, RMGC 10열 등 더욱 광폭화되고 있는 실정이며 이에 따라 야드시스템의 설계적 측면에서도 불필요한 공간을 줄이고 컨테이너 장치를 위한 공간을 최대한 효율적으로 계획하고 있다.

향후 세계 경제규모의 확대와 초대형 컨테이너선의 증가에 따라 물동량 증가와 더불어 선박당 적재량 증가되고 항만에서의 안벽생산성 증가를 모두 고려하면 기존 시스템에 비해 야드면적당 2~3배의 적재량을 필요로 하게 된다. 특히, 물동량이 급격하게 증가될 때 선박의 안벽 재하 시간 단축을 위해서는 야드의 적재용량이 매우 중요하다. 따라서, 부지이용의 효율성 측면에서 야드의 적재를 고집적화하고 생산성을 증가시킬 수 있는 야드하역시스템의 개발이 시급한 실정이다.

#### 4) 컨테이너 터미널 계획과 운영의 효율성

컨테이너 터미널의 주요기능은 컨테이너를 이동하고 저장하는 기본적인 기능을 가지고 있다. 터미널 개발자나 운영자의 입장에서는 이러한 터미널의 기본적인 기능을 최적화하여 고효율의 컨테이너 터미널을 건설하거나 운영토록 하는 데 목적이 있다.

따라서, 컨테이너 터미널을 계획하고 효과적으로 운영하기 위해서는 컨테이너의 취급생산성 향상, 장치장의 접근성 향상 그리고 부지이용률의 향상 등 크게 3가지 조건을 최대한으로 만족시켜야 한다.

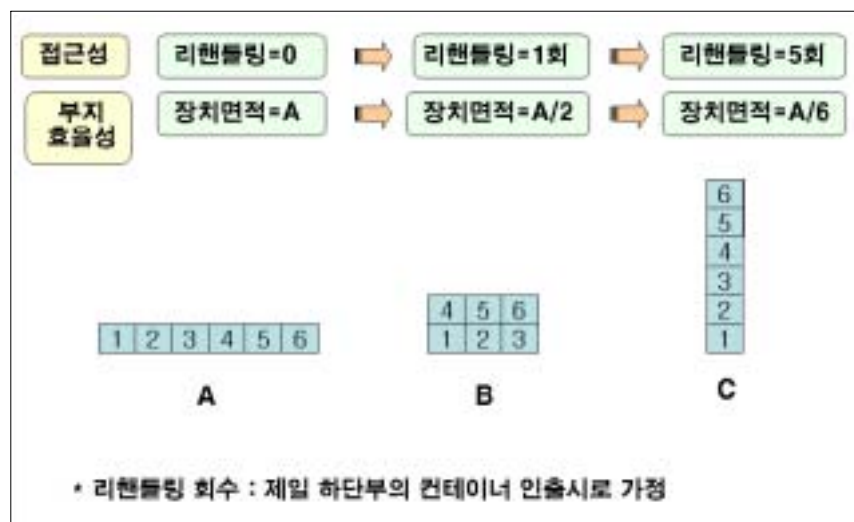
컨테이너의 취급생산성 향상은 안벽장비, 이송장비, 야드장비 및 운전자의 생산성 향상을 의미하는 것이며 이러한 요소들은 터미널의 능력을 결정짓는 주요수단이 되고 있다. 그러므로, 세계 선진항만들은 미래의 컨테이너 터미널을 위해 터미널 내의 모든 하역장비들을 최적으로 운영할 수 있는 첨단 하역시스템 개발에 연구와 투자를 지속적으로 수행하고 있다.

컨테이너 터미널에서 장치장의 접근성 향상은 부지이용률에 따라 좌우되고 있는데 컨테이너 위에 컨테이너를 적재하는 현 장치시스템에서

는 장치 단적수가 높아질수록 컨테이너에 대한 접근성은 떨어지게 된다.

<그림-6>에서 1번 컨테이너를 인출하기 위해 리핸들링 횟수가 A의 경우 0회, B의 경우 1회, C의 경우 5회에 이르는 반면, 장치면적은 C의 경우 A의 1/6, B의 1/3을 필요로 하게 된다. 이는 현재의 장치시스템이 구조적으로 컨테이너에 대한 접근성과 부지효율성 측면을 동시에 만족하기에는 한계가 있다는 것을 의미한다.

<그림-6> 접근성과 부지이용률



한편, 컨테이너 터미널은 연안의 넓은 면적을 필요로 하나 항만이 개발될수록 터미널 건설을 위한 부지확보가 점점 더 어려워지고 있다. 더욱이 연안을 매립하고 항로유지와 수심확보를 위해 준설을 해야 하므로 터미널 건설을 위한 비용이 증가하기 때문에 토지효율성이 매우 중요한 항만개발 요인으로 작용하게 될 것이다.

터미널 부지는 안벽영역, 야드영역, 시설물 영역 등 크게 3가지로 나누어지며 안벽영역과 시설물 영역은 터미널의 운영을 위해서는 절대적으로 필요한 면적을 가지고 있으며 하역시스템의 개선을 통해 소요면적



을 쉽게 조정하기가 어렵다. 그러나, 야드영역의 경우 장치시스템의 종류에 따라 소요면적을 상당부분 줄일 수 있는 여지가 있다.

<표-3>에서 동일한 면적, 즉 260~290TGS로 비슷한 TGS가 소요되는 RS시스템, SC시스템, RTG시스템, RMGC시스템 등을 비교해보면 각각의 장치시스템에 따라 최대적재량의 차이가 2배까지도 발생하였다.

따라서, 토지이용률은 장치시스템의 종류에 따라 달라지며 토지이용률의 향상은 터미널 장치 및 보관기능 향상과 직접적으로 연관되어 있다는 것을 알 수 있다.

〈표-3〉 야드시스템별 부지이용도

구 분	TGS	최대단 적수 (단)	최대적 재량 (TEU/ha)	평균운영 여유율 (평균)(%)	권장운영 여유율 (피크시)(%)	평균적 재량 (TEU/ha)	피크시 적재량 (TEU/ha)
RS, 3단3열	258	3	774	55	85	426	658
SC, 3단(10over3) '컨' 사이 간격: 4.1m	265	3	795	60	80	477	636
RTG, 4단6열	268	4	1,072	60	75	643	804
RTG, 5단7열	286	5	1,430	55	75	787	1,073
RMG, 4단9열(수직배치)	384	4	1,536	70	85	1,075	1,306
RMG, 6단12열(수평배치)	291	6	1,746	60	85	1,048	1,484
WSG, 5단18열 (좌우3단3열은 버퍼)	337	5	1,685	65	85	1,095	1,432
OBC, 4단9열 (수직배치) MT, 4단 10열(수직배치)	432	4	1,728	70	85	1,210	1,469
MT-Stacker, 7단8열	375	7	2,625	65	90	1,706	2,363

주 : 1. 권장운영여유율은 적재능력과 요구작업능력에 의존

2. 평균운영여유율은 대부분 터미널에서의 경험적 수치 사용

자료 : Dr.Armin Wieschemann & Prof.ir.John C. Rijssenbrij, Stack Handling System Design, TOC conference, 2004

### Ⅲ. 고효율 야드하역시스템 개발 방안

#### 1. 개발 대안

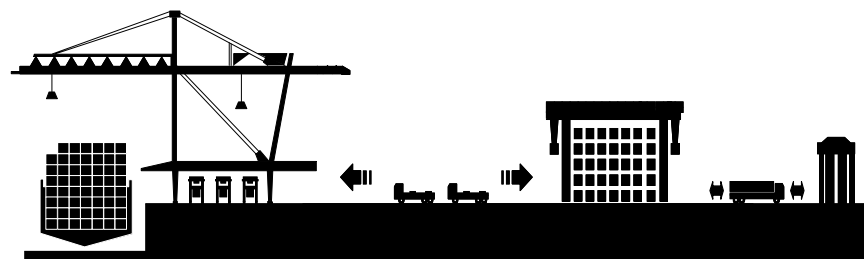
본 연구에서는 앞장에서 살펴본 바와 같이 기존의 터미널 야드장치공간의 부족현상을 해소하고 나아가 신규 컨테이너 터미널의 건설 계획시에 장치장의 부지절감을 동시에 충족시킬 수 있는 고효율의 야드시스템을 제안한다.

본 연구에서 제시하는 고효율의 야드시스템은 고단적 적재시스템(HSS: High Stacking System)으로, 기존 컨테이너 터미널에 일반화되어 있는 4단 장치구조를 대폭적으로 확장하여 컨테이너를 20~30단으로 고단적하는 방식이다. 이 적재방식은 동일한 면적 내에서 컨테이너 장치용량을 획기적으로 높일 수 있으며, 각종 비용절감(토지매입, 지반공사 등)의 효과를 거둘 수 있는 대안이다.

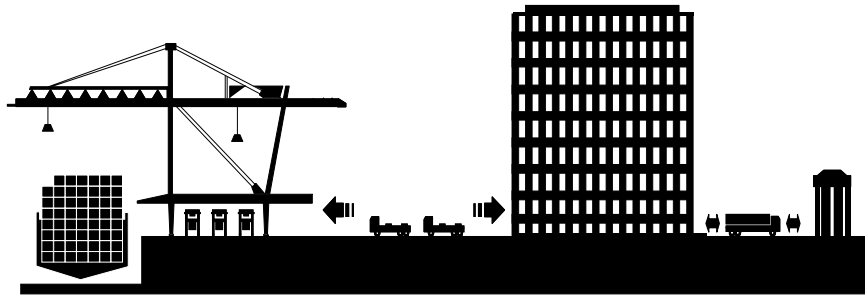
기존 터미널과 HSS 방식의 야드하역시스템을 상호 비교분석한 내용을 정리하면 다음과 같다.

HSS는 기존 야드시스템에 비해 장치용량, 재조작, 작업형태 및 서비스면에서 유리하며 기존 터미널 야드하역시스템의 취약점(장치공간 부족)을 보완할 대체 수단으로 평가될 수 있다.

〈그림-7〉 RTG or RMG 방식의 야드하역시스템(현재 시스템)



〈그림-8〉 HSS 방식의 야드하역시스템(개발대안)



〈표-4〉 기존 야드시스템과 HSS의 비교

구분	기존 야드시스템	HSS
장치용량	• RTGC를 이용한 4~5단적	• 20~30단의 대용량 적재가능
재조작	• 빈번한 재조작 작업	• 재조작 작업이 적음
작업형태	• 유인에 의한 작업자 교대	• 무인에 의한 24시간 운영
서비스	• 무료장치기간 제약 • 초대형에 생산성 대응 불리	• 무료장치기간 연장 가능 • 초대형선에 생산성 대응 유리

다만, 현재 이 개발대안은 기계장치부에 대해서만 일부 검증된 기술로, 터미널의 생산성 측면에서는 아직 검증이 미흡한 상황이다. 그러므로, 생산성 분석을 통한 좀더 확고한 신뢰성이 필요하며, 신뢰성 확보를 통해 야드하역시스템으로서의 역할을 충분히 수행할 수 있을 것이다.

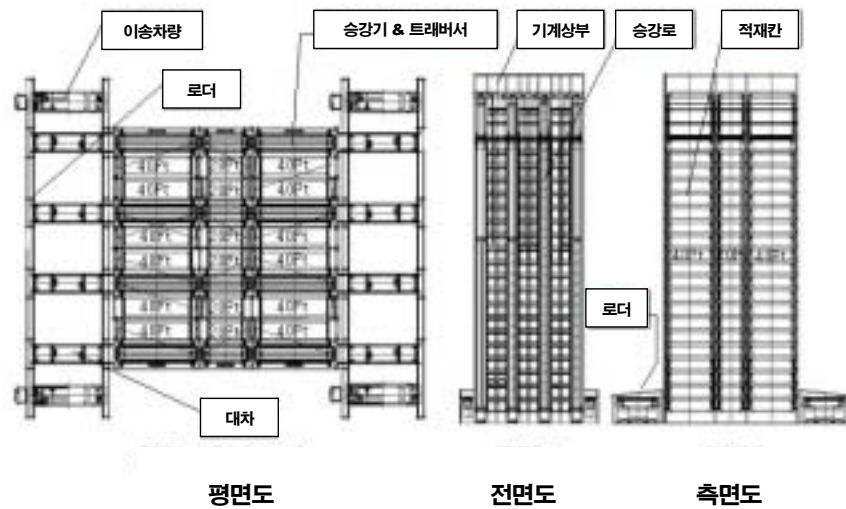
이에, 본 절에서는 하역생산성 측면에서 HSS의 처리능력을 분석하고, 이를 기초로 HSS 전용터미널 설계 방안을 수립해 보았다. HSS 처리능력을 측정하기 위해 객체지향 시뮬레이션 방법이 적용되었으며, 터미널의 물류흐름(로지스틱스)에 주안점을 두고 설계배치안을 작성해 보았다.

## 2. HSS 장치모듈별 성능분석

HSS의 장치모듈은 크게 로더(Loader), 대차(Automated Platform

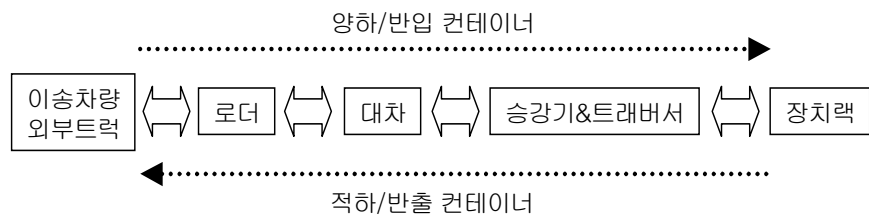
Car), 승강기(Elevator)&트래버서(Traverser)의 3가지 구동장치와 컨테이너를 보관하는 장치랙(Rack)으로 구성되며, 각 장치부의 주요 기능 및 기계성능을 살펴보면 다음과 같다.

〈그림-9〉 HSS 장치 구조도



터미널 하역작업시 외부시스템(이송차량/외부트럭)과 HSS 장치모듈 간의 연계작업을 수행하는 모듈은 로더이며, HSS를 도입하면 야드시스템상에서 다음과 같은 양적하 또는 반출입 컨테이너 흐름을 가지게 된다.

〈그림-10〉 HSS 내부의 컨테이너 흐름

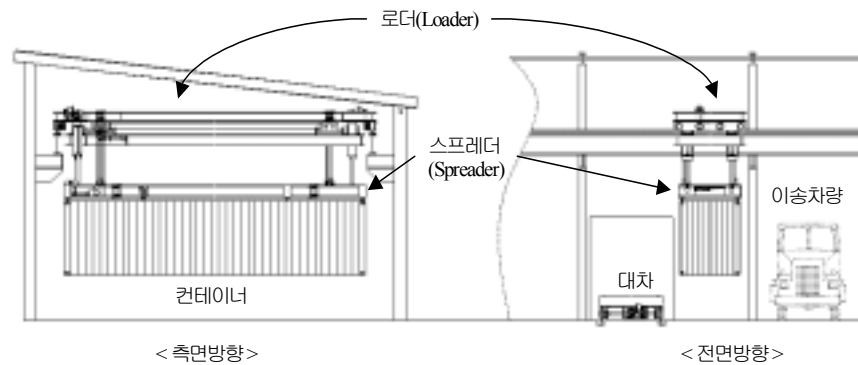


상위의 HSS는 1개의 컨테이너를 처리하는 데 소요되는 작업단계를 로더, 대차, 승강기&트래버서가 분담할 수 있는 특징을 가지고 있다. 따라서, 기존의 TC 단독에 의한 하역작업보다 각 구성모듈인 로더, 대차, 승강기&트래버서의 단위작업성과 구성조합수에 따라 높은 생산성을 기대할 수 있다.

### 1) 로더(Loader)의 하역능력

로더는 이송차량과 대차에 컨테이너를 상·하차 작업을 하는 장치부로 횡행운동과 상하운동을 반복적으로 수행하여 이송차량과 대차 간에 컨테이너를 싣고(loading), 내리는(unloading) 작업을 한다. 이송차량, 로더, 대차 간의 연계작업을 도식화하면 다음과 같다.

<그림-11> 이송차량⇔로더⇔대차간 연계작업 관계도



로더의 작업과정은 총 8단계로 구분되어지는데 각 단계에서 소요되는 시간을 구하면 로더의 작업 사이클 타임을 산출할 수 있고, 그 과정은 다음과 같다.

〈그림-12〉 로더의 작업사이클 타임 단계별 소요시간



로더의 각 작업단계별 소요시간을 종합하면, 컨테이너 1개를 처리하는 데 79.14초가 걸리며, 시간당 45.49개의 컨테이너를 처리할 수 있다. 따라서, 로더 장치부 기준으로 보면 기존의 야드하역장비(RTG or RMG)보다 2배 이상의 생산성 효과가 있다고 하겠다.<sup>8)</sup>

〈표-5〉 로더의 각 작업단계별 작업성능 및 소요시간

구분	속도	가속	감속	거리	소요시간
Step I	0.50m/s	+2.0m/s	-2.0m/s	10.5m	23.00sec
Step II	0.06m/s	-	-	0.3m	5.00sec
Step III	-	-	-	-	4.00sec
Step IV	0.035m/s	-	-	0.3m	8.57sec
Step V	0.50m/s	+2.0m/s	-2.0m/s	10.5m	23.00sec
Step VI	0.06m/s	-	-	0.3m	5.00sec
Step VII	-	-	-	-	2.00sec
Step VIII	0.035m/s	-	-	0.3m	8.57sec
합계	로더 기계적생산성: 45.49lifts/hr				79.14sec

8) 고성능 야드하역장비인 RMG의 경우 평균 사이클타임은 대략 90초 정도이나, 작업시 평균이동거리를 고려하면 총작업생산성은 시간당 16~20개 수준임

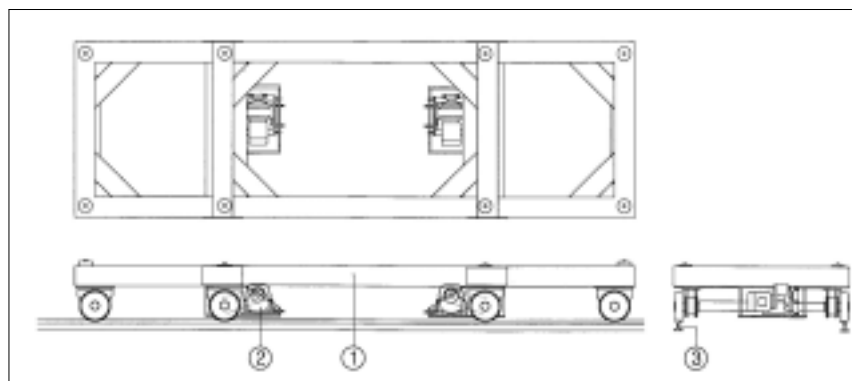
## 2) 대차(Automated Platform Car)의 운반능력

대차는 로더나 승강기로부터 컨테이너를 넘겨받아 내부 운반을 하는 장치부로 운반시에 바닥에 설치된 레일을 따라 직선거리를 반복적으로 운행하며, 1회에 1개의 컨테이너를 운반한다. 우선, 20피트와 40피트의 단위작업거리에 대해서 성능을 분석한 결과는 다음과 같다.

〈표-6〉 대차 단위 작업거리 분석표

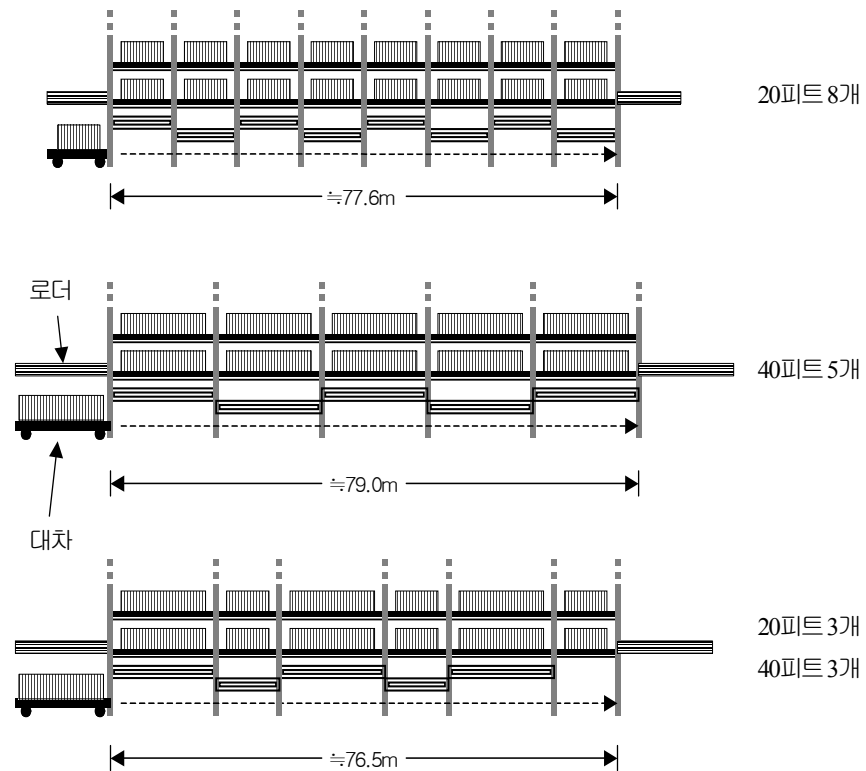
구 분		속 도	가속시간	감속시간	이동거리	합계
20피트 (1베이)	① 로더 적재대기	-	-	-	-	4.00sec
	② 대차이동	2.5m/s	4sec	4sec	13.38m	13.35sec
	③ 승강기 적재 대기	-	-	-	-	4.00sec
	④ 공 대차 이동	2.5m/s	4sec	4sec	13.38m	13.35sec
	계	-				34.70sec
40피트 (1베이)	① 적재대기	-	-	-	-	4.00sec
	② 대차이동	2.5m/s	4sec	4sec	16.38m	14.55sec
	③ 승강기 적재 대기	-	-	-	-	4.00sec
	④ 공 대차 이동	2.5m/s	4sec	4sec	16.38m	13.35sec
	계	-				37.10sec

〈그림-13〉 대차 구조도



하역작업시 대차의 실제 운행거리는 HSS의 설계규모에 따라 달라지기 때문에 대차의 단위 작업거리 성능을 가지고 HSS 설계 규모를 결정할 수 있다. 이것은 대차가 로더의 최단작업시간(79.14초)을 지원할 수 있는 HSS 설계규모로서 대차의 최대유효작업거리를 의미한다.

〈그림-14〉 로더지원을 위한 대차 최대 유효작업거리 구성도



대차의 주행속도와 이동거리에 대한 평균소요시간을 산출한 결과는 다음과 같다.



〈표-7〉 로더지원을 위한 대차의 최대 유효작업거리 산출표

항목 \ 컨테이너 크기	20피트	40피트
최대 개수	8개	5개
최대 거리	≒77.6m	≒79.0m

대차의 최대유효작업거리는 평균주행속도 2.2m/s에 최대 2.5m/s로 가감속 거리 5m를 고려하여 산출하였으며, 이 거리는 대차의 기계장치 성능개선을 고려하면 차후 증가시킬 수 있다고 본다.

### 3) 승강기(Elevator)&트래버서(Traverser) 성능 분석

승강기&트래버서의 성능은 컨테이너의 재조작 작업을 고려할 필요가 있다. 컨테이너의 재조작률은 컨테이너 장치공간의 적재율에 따라 다르기 때문에, 본 연구에서는 여유공간을 감안하여 장치공간의 적재율을 80%로 설정하였다.

장치랙의 구조는 통로를 중심으로 좌우로 2열/4열/6열의 3가지 경우와 적재층수 7~20층에 대해서 성능분석을 수행하였다.

〈표-8〉 HSS 장치열수별 재조작률

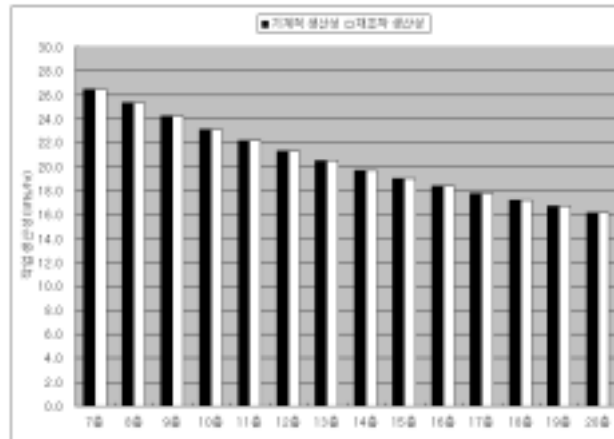
구분	적재공간 (cell)	적재율 (%)	실적재량 (box)	불출회수 (회)	재조작 (회/box)
2열 구조	10	80	10	10	1.00
4열 구조	20	80	16	22	1.38
6열 구조	30	80	24	42	1.75

승강기&트래버서 성능분석에서 2열 구조의 경우 재조작이 발생하지 않으므로 기계적 성능에 준하는 생산성을 달성할 수 있다. 그러나, 4열 및 6열의 경우 재조작을 고려하면 각각 평균 78.4%, 65.7%의 생산성을 가지는 것으로 분석되었다.

〈표-9〉 2열 구조의 승강기&amp;트래버서 성능분석

층수	기계적	재조작
7층	26.5	26.5
8층	25.3	25.3
9층	24.2	24.2
10층	23.1	23.1
11층	22.2	22.2
12층	21.3	21.3
13층	20.5	20.5
14층	19.7	19.7
15층	19.0	19.0
16층	18.4	18.4
17층	17.8	17.8
18층	17.2	17.2
19층	16.7	16.7
20층	16.2	16.2

단위: 개/시간

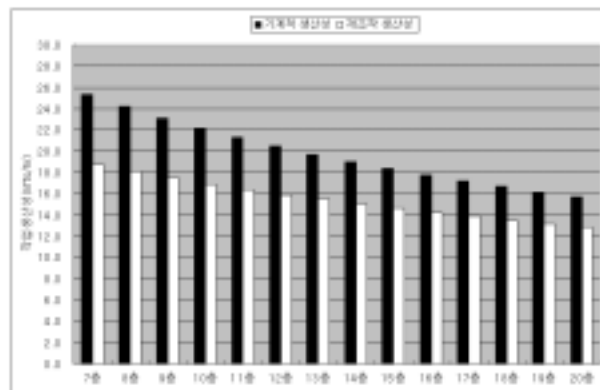


한편, 4열 및 6열에서 적재층수가 높아질수록 기계적 생산성 대비 재조작 생산성의 비율이 증가하는 현상으로 보아 컨테이너 적출작업을 하는 트래버서의 성능이 승강기에 비해 매우 낮은 것으로 분석된다.

〈표-10〉 4열 구조의 승강기&amp;트래버서 성능분석

층수	기계적	재조작
7층	25.3	18.7
8층	24.2	18.1
9층	23.1	17.5
10층	22.2	16.9
11층	21.3	16.4
12층	20.5	15.9
13층	19.7	15.5
14층	19.0	15.0
15층	18.4	14.6
16층	17.8	14.2
17층	17.2	13.9
18층	16.7	13.5
19층	16.2	13.2
20층	15.7	12.9

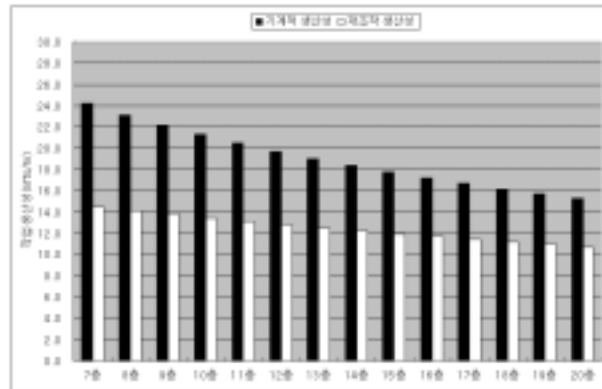
단위: 개/시간



〈표-11〉 6열 구조의 승강기&트래버서 성능분석

층수	기계적	재조작
7층	24.2	14.5
8층	23.1	14.1
9층	22.2	13.8
10층	21.3	13.4
11층	20.5	13.1
12층	19.7	12.8
13층	19.0	12.5
14층	18.4	12.2
15층	17.8	11.9
16층	17.2	11.7
17층	16.7	11.4
18층	16.2	11.2
19층	15.7	11.0
20층	15.3	10.7

단위: 개/시간

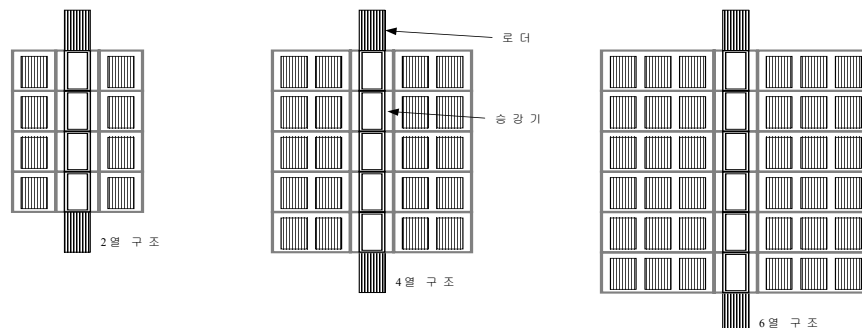


이상의 승강기&트래버서의 성능분석을 토대로 야드하역작업시에 로더의 작업을 원활히 지원하기 위한 HSS 최대설계규모를 결정할 수 있으며, 그 결과는 다음과 같다.

〈표-12〉 로더지원을 위한 승강기&트래버서 최대 유효작업규모 산출표

적재층수	2열		4열		6열	
	20피트	40피트	20피트	40피트	20피트	40피트
7층 ~ 11층	3개	3개	4개	4개	5개	5개
12층 ~ 20층	4개	4개	5개	5개	6개	6개

〈그림 15〉 로더지원을 위한 승강기&트래버서 최대 유효작업규모 구성도(12~20층)



### 3. 대상 컨테이너 터미널 적용분석

본 절에서는 앞서 분석된 HSS의 로더, 대차, 승강기&트래버서의 단위별 성능분석 결과를 토대로 터미널의 야드하역시스템 측면에서의 HSS의 성능을 분석해 보았다. HSS의 성능분석은 대상터미널의 안벽처리능력에 부합하는 HSS 적정 설계규모를 결정하는 것이 주목적이며 동시에 안벽의 순작업생산성과 반출입서비스 능력을 측정하여 HSS의 효과를 분석하는 것이 된다.

#### 1) 안벽성능분석

HSS의 안벽성능분석은 터미널의 선박 양·적하작업을 지원하는 야드하역시스템의 처리능력으로 야드에 도착하는 이송차량에 대한 서비스 능력을 의미한다. 이송차량에 대한 서비스는 HSS의 장치부 중 로더가 담당하며 로더의 기계적 성능과 수량이 HSS의 안벽성능을 결정하게 된다.

HSS 안벽성능분석 위한 대상터미널의 환경설정과 시나리오 구성은 다음과 같다.

〈표-13〉 대상터미널 환경설정 및 시나리오 구성

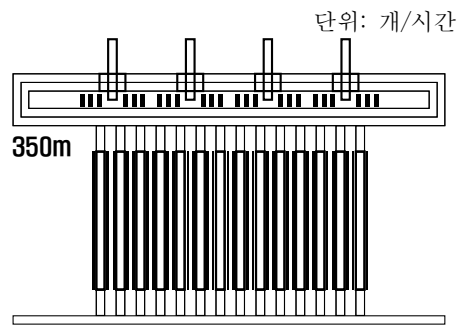
구분		설정	비고
안벽길이		1,400m	1개 선석(350m/선석)
C/C 대수		4대	슈퍼테이너
C/C 성능		87.80개/시간	기계적생산성
이송장비	운행대수	6대	C/C당 차량수
	운행방식	Closed loop	조별방식
	운행속도	3.82m/s	평균주행속도
시나리오 구성		로더 7개~17개	HSS 설계 규모

안벽길이는 350m의 1개 선석으로 선석당 C/C 4대(슈퍼테이너급)로 설정하였다. 이송장비의 작업방식은 조별작업을 원칙으로 하고 C/C당 최대 작업가능대수인 6대를 배정하고 평균주행속도 3.82m/s를 적용하였다. 시나리오는 선석당 로더 7개에서 최대 17개까지 구성하였다.

이상의 내용을 토대로 HSS의 안벽성능분석 시뮬레이션을 수행한 결과는 다음과 같다.

〈표-14〉 대상 터미널 시뮬레이션 분석결과(C/C 생산성)

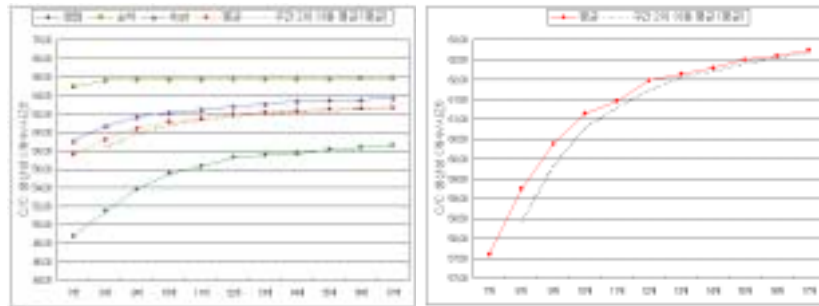
운영방식 로더규모	임의 할당	순차 할당	4-opt	평균
7개	48.75	64.95	59.10	57.60
8개	51.45	65.65	60.66	59.25
9개	53.84	65.67	61.65	60.39
10개	55.56	65.70	62.17	61.14
11개	56.27	65.71	62.43	61.47
12개	57.31	65.74	62.87	61.97
13개	57.57	65.75	63.09	62.14
14개	57.71	65.75	63.40	62.29
15개	58.19	65.79	63.57	62.50
16개	58.41	65.81	63.71	62.60
17개	58.62	65.85	63.53	62.73



〈표-15〉 양·적하 컨테이너 장치규칙

구 분	내 용	적용성
I	임의 할당 각 컨테이너에 대해 작업시마다 임의적으로 장치위치(로더)를 할당하는 방법(Random assign)	○
II	순차 할당 각 장치위치(로더)를 순차적으로 할당하여 작업량을 균등하게 하는 방법(regular assign)	△
III	k-opt 할당 장치규칙 I, II를 병행하여 장치위치를 할당하는 방법(k-optimal assign)	◎

〈그림-16〉 대상 터미널 시뮬레이션 분석결과 그래프(C/C 생산성)



대상 터미널의 안벽성능 시뮬레이션 결과는 안벽의 원활한 작업을 위해 선석당 14개의 로더 규모가 요구되는 것으로 분석되었다. 이는 로더수량과 안벽장비인 C/C의 순작업생산성 향상치를 동시에 고려하여 결정된 것으로, 이때의 C/C 순작업생산성은 62.29(개/시간)로 산출되었다.

〈표-16〉 HSS 안벽성능분석 시뮬레이션 결과

구분	선석당 C/C대수	적정로더규모	C/C 순작업생산성
결과값	4대	14개	62.29(개/시간)

## 2) 반출입 성능분석

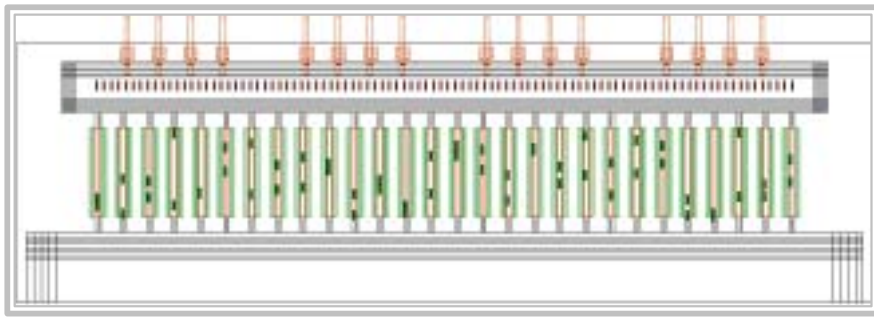
반출입 처리능력은 안벽성능분석에 사용된 로더 규모 분석과 거의 동일하며, 일일도착 트럭대수를 원활히 처리할 수 있는 로더의 수량을 산출하는 것이다. 시뮬레이션 분석에서는 반출입 트럭의 체류시간을 산출하기 위해 안벽성능분석과 달리 대상 터미널을 4개선석으로 확장하여 시뮬레이션 분석을 수행하였다.

HSS의 반출입성능분석을 위한 대상터미널의 환경설정과 시나리오 구성은 다음과 같다.

〈표-17〉 대상터미널 환경설정 및 시나리오 구성

구분	설정	비고
일일도착트럭대수	3,032~3,336대	최소값, 최대값
트럭운행속도	3.82m/s	평균속도
운행거리	≒1,700m	입출구게이트는 분리
트럭도착패턴	시간대별 도착비율적용	경험적 분포치 사용
시나리오 구성	로더 28~68개	4선식 기준

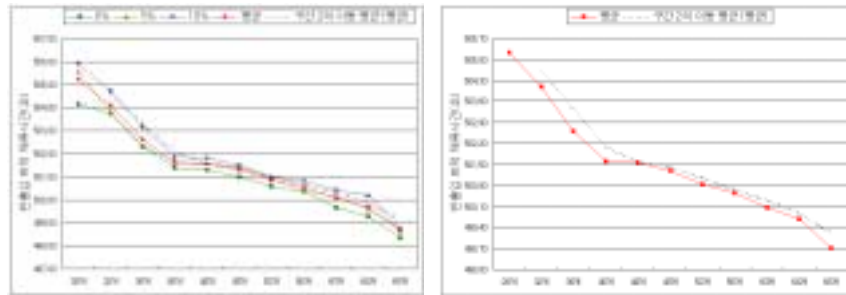
〈그림-17〉 대상 터미널 반출입 체류시간 분석 레이아웃



〈표-18〉 대상 터미널 반출입 트럭 평균체류시간 분석 결과

트럭대수 로더규모	0%	+5%	+10%	평균	
				초	분
28개	504.15	505.58	505.92	505.22	8.42
32개	503.75	503.81	504.72	504.09	8.40
36개	502.32	502.33	503.20	502.62	8.38
40개	501.37	501.64	501.86	501.62	8.36
44개	501.28	501.60	501.83	501.57	8.36
48개	501.00	501.37	501.49	501.29	8.35
52개	500.58	500.96	500.96	500.83	8.35
56개	500.37	500.41	500.83	500.54	8.34
60개	499.65	500.15	500.44	500.08	8.33
64개	499.27	499.61	500.19	499.69	8.33
68개	498.36	498.65	498.75	498.70	8.31

〈그림-18〉 대상 터미널 시뮬레이션 분석결과 그래프(반출입)



대상 터미널의 반출입 트럭 체류시간 시뮬레이션을 분석한 결과 수행된 11개 시나리오에서 체류시간이 평균 8~10분인 것으로 나타났으며, 이는 기존 터미널의 10~20분보다 단축된 값으로 분석된다. 따라서, 반출입 트럭 서비스를 위한 적정 로더수량은 1개 선석당 로더 7대로도 충분한 서비스 수준을 가지는 것으로 판단된다.

〈표-19〉 HSS 반출입성능 분석 시뮬레이션 결과

구분	안벽길이	일일차량대수	적정로더규모	체류시간(분)
분석결과	1,400m	3,032~3,336대	28개	8.31~8.42

## 4. HSS 전용터미널 설계안

### 1) 전용터미널 로지스틱스

터미널의 개발계획 및 개발 형태 설정을 위해서는 먼저 물류의 흐름과 적용장비, 연계방안 등을 분석하여야 한다.

이러한 터미널의 물류흐름을 통해 터미널의 운영을 위한 계획과 영역별 기능, 영역별 구성요소와 그 기능에 따른 영역의 평면계획이 이루어진다.



### (1) 일반/냉동/위험물/재유통 공컨테이너의 물류흐름

일반 적 · 공컨테이너, 냉동 적 · 공컨테이너, 위험물 적 · 공컨테이너 및 재유통 공컨테이너 등은 메인 HSS 랙구조물에 장치된다.

〈표-20〉 일반/냉동/위험물/재유통 공컨테이너의 물류흐름

구분	물류흐름
수입 컨테이너	선박→C/C→AGV(YT)→로더→대차→승강기→수입컨랙→승강기→대차→로더→외부트럭→게이트
환적 컨테이너	선박→C/C→AGV(YT)→로더→대차→승강기→환적컨랙→승강기→대차→로더→AGV(YT)→C/C→선박
수출 컨테이너	게이트→외부트럭→로더→대차→승강기→수출컨랙→승강기→대차→로더→AGV(YT)→C/C→선박
재유통 공컨테이너	게이트→외부트럭→대차→승강기→재유통컨랙→승강기→대차→로더→외부트럭→게이트, CFS→YT→대차→승강기→재유통컨랙→RS→YT→CFS

### (2) 비규격 컨테이너의 물류흐름

비규격 컨테이너의 경우 HSS 랙 구조물에 적재되지 못하는 타입의 컨테이너 적재 및 저장을 위한 공간으로서 별도의 취급영역을 가지며 터미널 후면에 위치하게 된다. 비규격 컨테이너의 물류흐름은 다음과 같다.

〈표-21〉 비규격 컨테이너의 물류흐름

구분	물류흐름
수입 컨테이너	선박→C/C→YT→RS→비규격야드→RS→외부트럭→게이트
환적 컨테이너	선박→C/C→YT→RS→비규격야드→RS→YT→C/C→선박
수출 컨테이너	게이트→외부트럭→RS→비규격야드→RS→YT→C/C→선박

### (3) On-Wheel 컨테이너의 물류흐름

On-Wheel 컨테이너 야드의 경우 IMO 1,7번 컨테이너와 비규격 야드

및 HSS 랙 구조물에 적재되지 못하는 타입의 컨테이너 적재 및 저장을 위한 공간으로서 별도의 취급영역을 가지며 일반적으로 터미널 후면에 위치하게 된다.

On-Wheel 컨테이너의 물류흐름은 다음과 같다.

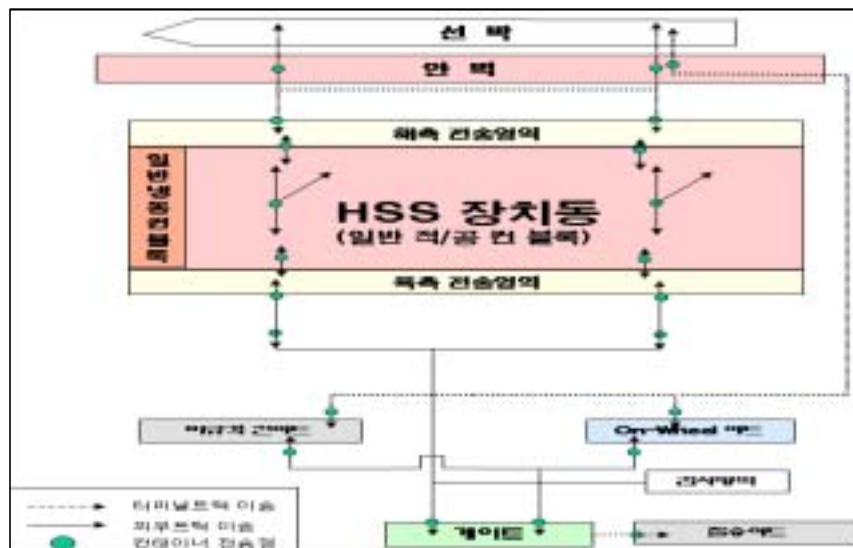
〈표-22〉 On-Wheel 컨테이너의 물류흐름

구분	물류흐름
수입 컨테이너	선박→C/C→YT→On-Wheel야드→외부트럭→게이트
환적 컨테이너	선박→C/C→YT→On-Wheel야드→YT→C/C→선박
수출 컨테이너	게이트→외부트럭→On-Wheel야드→YT→C/C→선박

#### (4) 전용 컨테이너 터미널의 로지스틱스

위에서 검토된 일반, 냉동, 위험물, 재유통, 비규격, On-Wheel 컨테이너 등 각 화물별 물류흐름을 검토하여 전체적인 전용 컨테이너 터미널의 로지스틱스를 수립하면 다음 <그림-19>와 같다.

〈그림-19〉 고효율 적재시스템 전용터미널 로지스틱스



## 2) HSS를 적용한 전용터미널의 평면배치

HSS의 성능분석을 통해 산출된 HSS의 적정 소요규모와 로지스틱스를 근간으로 실제 대형터미널에 적용하여 보았다.

HSS 전용터미널의 평면배치를 위해 다음과 같은 평면배치 전제조건을 설정하였다.

〈표-23〉 HSS 전용터미널 평면배치의 전제조건

구분	전제조건
안벽영역	• 안벽영역(에이프런)은 기존 컨테이너 터미널의 안벽영역과 동일한 규모를 가짐
야드영역	• HSS 장치장은 각 장치동별로 20피트와 40피트가 혼재되어 적재되나 동일한 유니트 내에는 20피트와 40피트가 혼재되지 않음
시설물 영역	• HSS 장치동 외의 빈 공간에 시설물을 배치 • 시설물은 기존 컨테이너 터미널에 적용되는 모든 시설물을 포함하며 비규격 컨야드, 재유통공컨야드, On-Wheel 야드, 위험물 야드 등을 모두 배치

〈표-23〉의 전제조건을 바탕으로 HSS 성능분석을 통해 4열 17층, 4열 18층, 6열 11층, 6열 12층의 4가지 대안이 선정되었으며 선정된 대안별 적정규모를 에이프런 깊이, 해측 및 육측 접근영역, 해측 및 육측 로더깊이, 순수 장치랙의 깊이, 시설물 깊이별로 산출한 결과는 〈표-24〉와 같다.

〈표-24〉 부지의 깊이

종류	에이프런 깊이(m)	접근영역 깊이(m) (해측)	로더깊이 (m) (해측)	동깊이 (m)	로더깊이 (m) (육측)	접근영역 깊이(m) (육측)	시설물깊이 (m) (추가부)	계
4열17층	74.2	25.0	18.0	78.0	18.0	25.0	121.2	359.4
4열18층	74.2	25.0	18.0	78.0	18.0	25.0	121.2	359.4
6열11층	74.2	25.0	18.0	78.0	18.0	25.0	136.6	374.8
6열12층	74.2	25.0	18.0	78.0	18.0	25.0	136.6	374.8

주 : 안벽길이는 1,400M 적용

각 대안별로 에이프런의 깊이는 기존 컨테이너 터미널에서 적용하던 안벽범선에서 야드장치장의 첫 적재시작점까지이며 접근영역은 내외부 이송장비가 로더영역까지 진입하기 위한 대기 및 회전 여유공간이다. 또한 시설물은 2번과 3번 장치동 사이, 4번 장치동 우측, 터미널 후면에 배치되었다.

그 결과 4열 17층, 4열 18층의 경우 터미널 전체 깊이는 359.4m, 6열 11층과 6열 12층의 경우 터미널 전체 깊이는 374.8m가 필요한 것으로 나타났다.

〈그림-20〉

HSS 전용터미널 계획평면도



주 : ① 내부트럭 작업영역, ② 내부트럭 주행영역, ③ 외부트럭 주행영역, ④ HSS와 내부트럭과의 컨테이너전송영역, ⑤ HSS와 외부트럭과의 컨테이너전송영역, ⑥ HSS 장치동, ⑦ 특수 컨테이너장치영역, ⑧⑨ 시설물영역, ⑩⑪ 게이트 영역, ⑫ 주차장 영역

## IV. HSS를 적용시 효과 분석

### 1. 초대형선 및 초고속 하역시스템 대응효과

HSS는 기존의 야드하역시스템에 비해 하역생산성 측면에서 기존 터미널에 비해 생산성 향상 효과가 높은 것으로 분석된다.

앞서 분석한 HSS 시스템 성능분석을 보면 단일성능에서 로더의 생산성은 시간당 45개로 기존 RTG 방식의 평균 16.7개보다 2.7배 높다. 또한, 터미널 적용분석에서도 초고속 안벽장비인 슈퍼테이너 하역작업에 부합하는 지원능력을 갖추고 있으며, 반출입트럭의 터미널 체류시간 단축효과도 있는 것으로 나타났다.

이는 향후 초대형선 입항시 시간당 300개 이상(선박당)의 컨테이너를 안벽에서 처리해야 하는 데 반해 기존 컨테이너 터미널의 야드하역시스템, 야드하역장비, 제한된 부지면적으로는 안벽에서의 처리물량을 충분히 뒷받침해줄 수 없기 때문에 기존의 야드하역시스템보다는 생산성이 높은 고효율의 하역시스템이 적절한 적용 대안이 될 것으로 판단된다.

따라서, 향후 초대형선 기항이 일반화되어 선박의 재항시간을 단축하기 위한 고효율 야드하역시스템 개발시 HSS를 적용한 전용터미널 설계를 고려해 볼 필요가 있다.

〈표-25〉 기존 터미널 및 HSS 전용터미널의 특성 비교

구분	기존터미널	HSS 전용터미널
야드생산성	16.7개	45개
야드제조작	고비용의 제조작발생	저비용의 제조작발생
야드운영	인력에 의한 교대운영	인공지능화된 무인화 운영
고속하역	싱글형(45개/시간) C/C에 적합	슈퍼테이너형(87개/시간) C/C에 적합
공간활용도	RTG(4단)/RMG(5단)	최대 20~30단적 가능

## 2. 기존 컨테이너 터미널 대비 부지절감 효과

HSS 전용터미널의 경우 기존 컨테이너 터미널에 비해 공간의 활용도가 높아 부지절감 효과가 상당히 큰 것으로 나타났다.

기존 컨테이너 터미널과의 부지효율성 비교시 안벽길이는 1,400m를 적용하였으며 에이프런의 면적과 시설물들의 소요면적도 동일하게 적용하였다.

기존 컨테이너 터미널과 비교한 결과 HSS 전용터미널은 기존 터미널에 비해 약 58~60%만이 소요되는 것으로 나타났으며 이는 HSS 자체가 기존 터미널의 야드시스템에 비해 고단적으로 컨테이너를 적재할 수 있다는 장점과 HSS 장치동의 많은 여유공간에 시설물의 배치가 가능하다는 것이 유리한 점으로 작용하였다.

본 연구의 대상터미널과는 별도로 선석당 60만TEU(4선석 240만TEU)를 처리하기 위한 초대형 컨테이너 터미널을 분석해 본 결과 HSS를 적용한 터미널의 경우 기존 60만TEU를 처리하기 위한 컨테이너 터미널의 면적보다 약 51~53%만이 소요되는 것으로 나타났다(<표-26> 참조).

또한 연간 160만TEU를 처리하는 기존 컨테이너 터미널과 계획TGS를 비교해 보면 4열 17, 18층의 경우 약 17.8%, 6열 11, 12층의 경우 약 26.7%만이 소요되는 것으로 나타났다(<표-27> 참조).

<표-26> 부지의 효율성(컨테이너 터미널 전체 면적비교)

종류	기존 터미널의 깊이(m)	HSS 전용터미널의 깊이(m)	기존대비(%)
4열 17층	600	359.4	58
4열 18층	600	359.4	58
6열 11층	600	374.8	60
6열 12층	600	374.8	60

주 : 안벽길이는 기존터미널과 HSS 전용터미널이 동일함. 따라서 터미널 깊이비교로 부지면적의 기존대비 소요비율을 산출

미래의 항만은 장비의 발전, 선박의 초대형화, 항만의 서비스 수준 증가 등의 요구에 따라 선석당 처리능력이 더욱 늘어날 것이고 그에 따른 야드의 장치면적도 더욱 늘어날 수밖에 없을 것이다.

위와 같은 HSS의 부지절감효과를 분석한 결과를 살펴보면 HSS를 적용한 터미널은 항만에서의 처리요구능력이 커지면 커질수록 부지의 절감효과도 더욱 증대된다는 것을 알 수 있다.

〈표-27〉 야드의 계획TGS 비교

종류	소요 TGS	기존터미널의 계획 TGS	HSS 전용터미널의 계획TGS	기존대비(%)
4열 17층	10,475	11,294	2,016	17.85
4열 18층			2,016	17.85
6열 11층			3,024	26.77
6열 12층			3,024	26.77

- 주 : 1. 규모는 160TEU를 처리하는 컨테이너 터미널을 기준으로 하였음.  
 2. TGS 산출을 위한 기본 전제조건은 동일하며 소요 TGS 산출에서 비규격, On-Wheel 컨테이너는 제외(특수야드 적재)  
 3. 기존 터미널의 경우 5단 9열의 RMGC시스템을 적용하였음

〈그림-21〉 HSS 전용터미널의 부지절감 효과



- 주 : ① 일반 컨테이너 장치장, ② 특수 컨테이너 장치장, ③ 게이트, 운영빌딩, 유지 보수빌딩, 근로자빌딩 등의 시설물



## V. 결 론

전 세계적으로 향후 1만 5천TEU급 초대형선의 등장에 대비하여 첨단 항만, 고생산성의 항만건설에 박차를 가하고 있다.

현재, 네덜란드의 ECT, Euromax 터미널, 독일의 CTA 등은 항만의 운영비용 감소와 생산성 증가를 위해 무인자동화터미널을 운영하고 있으며, 벨기에의 엔트워프 항, 싱가포르의 PSA, 홍콩의 HIT 등은 야드의 부지이용률 극대화를 위해 고효율의 야드하역시스템을 적용하고 있다. 이외에도 신개념 컨테이너 터미널로 연구개발 중이거나 특허출원 중인 스피드포트,<sup>9)</sup> 슬립 웨어하우스시스템,<sup>10)</sup> FAMAS시스템<sup>11)</sup> 등이 있으며, 기타 하역장비와 하역시스템 개선분야에서 30여 건의 다양한 연구가 이루어지고 있다.<sup>12)</sup>

이와 같이 항만을 둘러싼 주변의 환경변화에 대응하기 위하여 국내에서도 정책적, 기술적 측면에서 대응방안을 강구하고 있다. 정부에서는 과거의 항만건설 위주에서 첨단화된 자동화장비 개발, 고효율의 차세대 물류시스템 개발, 국가적 기술개발 등 항만기술의 발전을 위해 노력하고 있다. 또한, 민간부문에서도 이를 실용화하여 항만에 적용하는 등 항만환경의 변화에 대응하고 있다.

이에, 본 연구에서는 이러한 환경변화에 대응하여 차세대 항만의 나아갈 방향과 항만의 생산성 증대, 항만건설 부지비용의 절감, 부지이용의 효율화를 달성할 수 있는 고효율 야드시스템에 대한 개선방안을 제시하였다.

고효율 야드시스템 개선을 위해 야드에서 랙 구조물을 이용한 고단적

9) 미국의 ACTA Maritime Development Corporation에서 제안한 도크형 터미널로서 수직상하식 하역방식, 환경지향적시스템, 터미널의 전자동화를 채택한 신개념의 컨테이너 터미널임

10) Deloitte & Touche Consulting사에서 제안하였으며 양현하역시스템과 6단적 창고형의 랙시스템을 채용

11) 네덜란드의 CTT, ECT, Siemens, Nelcon 등이 컨소시엄으로 참여하며 차세대 항만의 개념으로 개발, 항만시설, 운영방식, 장비의 인공지능화를 추구

12) 양창호 외, 「초대형 컨테이너선 운항에 대비한 차세대 항만하역시스템 기술개발전략 연구」, 한국해양수산개발원, 2002.12

적재장치를 대상으로 장치구조와 생산성을 분석하였으며 이를 항만에 적용할 경우 평면배치에 따른 부지절감의 효과 등을 가늠해 보았다.

세부적으로 고단적 적재시스템의 생산성 분석을 위해 기본적인 고단적 적재장치에 포함되는 로더, 대차, 승강기, 랙구조물의 구조와 기본적인 성능을 분석하였으며 랙의 열수(2열, 4열, 6열), 층수(7~20층)에 따른 다양한 42개 시나리오안을 대상으로 하였다. 이를 바탕으로 시나리오별 고단적 적재장치의 장점인 셀 적재에 따른 리핸들링 감소부분, 운영여유율의 감소부분 등 운영적 측면에서의 장치규칙에 따른 생산성을 산출하였다.

또한 이를 통해 각 시나리오별로 소요규모를 산출하였고 이에 따라 구성장치의 성능을 만족하는지 여부에 따라 최종 4개 개발규모 대안을 선정하였다.

결론적으로 최종 4개 고단적 적재장치 대안을 안벽길이 1,400m, 처리물동량 160만TEU의 가상터미널에 적용하여 안벽영역, 야드영역, 시설물 영역 등을 배치한 결과 기존 터미널에 비해 약 58~60%의 부지규모가 소요되는 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 향후 국내항만이 정책적으로 추진해야 할 방향은 다음과 같다.

첫째, 동북아 중심항만의 입지를 확보하기 위해서 반드시 다수의 대형항만을 보유하는 것만이 아니라 기존 항만의 경우 항만시스템의 개선을 통해 고생산성, 고효율성의 항만하역시스템으로 발전시켜 나감으로써 선사와 기업에 대한 서비스를 높일 수 있는 방안을 강구해야 한다.

또한, 신규 터미널의 경우 세계적인 추세인 항만부지 확보의 어려움과 부지비용의 증가, 환경오염 등 전반적으로 건설보다는 고집적화된 항만 개발에 무게를 두고 있는 추세이므로 고층적재시스템과 같은 토지이용률을 높일 수 있는 항만을 건설하여 전반적인 항만의 비용을 감소시킬 수 있도록 연구와 개발에 투자를 하여야 한다.

둘째, 고단적 적재장치는 기존 컨테이너 터미널 야드장비에 비해 생산성이 높은 반면 고가의 장비와 건설비용이 소요된다. 현재, 국가적 R&D 과제으로써 고단적 적재장치를 개발 중이며 2년 이내에 파일럿시스템이

완성될 예정이다. 이후 기술적, 성능적 검증과 안정성이 확보된다면 세계 항만에서의 고층적재시스템의 활용도는 매우 높을 것이다. 그러나, 기존 컨테이너 터미널 하역장비 비용과 비교해 가격 경쟁력을 가지기 위해서는 랙 구조물과 승강장치의 구조개선 및 자재의 경량화 등 지속적인 기술개발과 함께 시스템을 보완·발전시켜 나가야 할 것이다.

본 연구에서는 전반적으로 야드시스템 개선의 필요성과 이를 위한 고단적 적재시스템의 선정 및 요구성능 분석, 실질적 항만에 적용하였을 경우 소요규모 등을 분석·연구하였다. 향후 과제로는 본 고단적 적재시스템에 대하여 세부적으로 다양한 운영규칙과 로직을 반영하고, 보다 보완된 장치 내부의 구조변화에 따른 생산성 변화 등의 고단적 적재시스템의 최적화를 위한 연구가 수행되어야 할 것으로 본다.

## 참 고 문 헌

1. 김갑환 · 박영만, “무게를 고려한 수출 컨테이너의 장치위치 결정법”, 대한산업공학회지, 제22권 제4호, 1996.
2. 김갑환 · 박강태, “라그랑지 완화법을 이용한 컨테이너 터미널의 수출 장치장 공간할당계획”, 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계학술대회, 1999.
3. 김갑환 · 원승화 · 양창호 · 김영훈 · 배종욱, “시뮬레이션을 사용한 자동화 컨테이너 터미널 레이아웃의 평가”, 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계학술대회, 2001.
4. 배종욱, “컨테이너 터미널에서 버퍼 야드에 관한 시뮬레이션 연구”, 대한산업공학회, 제8권 제4호, 2003.
5. 양창호 외, 「초대형 컨테이너선 운항에 대비한 차세대 항만하역시스템 기술개발전략 연구」, 한국해양수산개발원, 2002.
6. 왕승진 · 김갑환 · 박영만 · 양창호 · 김영훈 · 배동욱, “자동화 컨테이너 터미널에서의 장치장 운영 시뮬레이션 연구”, 대한산업공학회, 한국경영과학회 춘계공동학술대회 논문집, 2002.
7. 윤원영 · 이주호 · 최용석, “시뮬레이션을 이용한 자동화 컨테이너 터미널의 이적운영규칙에 관한 연구”, 한국시뮬레이션학회논문지, 제12권 제3호, 2003.
8. 이경모 · 김갑환, “트랜스퍼 크레인의 반입 및 반출 작업순서 결정규칙의 도출과 비교 실험연구”, 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, 1999.
9. 장성용 · 용운중, “자동화컨테이너터미널을 위한 시뮬레이션 기법의 적용”, 서울산업대학교 논문집, 제50집, 1999.
10. 하태영 · 최용석, “고성능 안벽크레인의 터미널 하역 생산성 비교분석”, 한국항해항만학회지, 제29권, 제6호, 2005.
11. 한국은행, 통계BD, 2004.
12. 한국컨테이너부두공단, 「컨테이너화물 유통추이 분석」, 각년도.
13. 한국해양수산개발원, 「상하이 양산터미널 개발에 따른 우리나라 항만의 대응방안」, 2005.

14. 해양수산부, 「전국무역항 기본계획」, 2001.
15. 해양수산부, 「초대형 컨테이너선용 항만기술개발」, 2004.
16. 황홍석 · 조규성, “AutoMod를 이용한 오퍼레이팅시스템의 능력산정 모델의 연구”, 한국시뮬레이션학회 춘계학술대회 논문집, 1999.
17. IMF, *Direction of Trade Statistics Yearbook*, 2004.
18. C. Davis Rudolft III, *Container-crane Productivity: Can it Keep up with Container Ship Size Increase?*, Port Technology International 14th Edition, 2001.
19. Cargo Systems, 각호, 2000-2003.
20. Chin-I. Liu, Hossein Jula, Katarina Vukadinovic, Petros Ioannou, “Automated guided vehicle system for two container yard layouts”, *Transportation Research Part C* 12, 2004.
21. Dr. Armin Wieschemann & Prof. ir. John C. Rijsenbrij, “Stack Handling System Design”, *TOC conference*, 2004.
22. Dr. G. De Monie, “The Next Generation of Terminal Capacity”, *TOC conference 2004*, 2004.
23. Drewry Shipping Consultants, *The Drewry Container Market Quarterly*, London, 2000.
24. Drewry, *Global Container Terminals*, 2002.
25. Hu Y H, Huang S Y, Chen C, Hsu W J, Toh A C, Loh, CK, Song T, “Travel time analysis of a new automated and retrieval system”, *Computers&Operations Research*, Vol. 32, 2005.
26. Itsuro Watanabe, *Container Terminal Planning A Theoretical Approach*, 2002.
27. K. H. Kim, K.Y. Kim, “An optimal routing algorithm for a transfer crane in port container terminals”, *Transport Sci.* 33, 1999.
28. Lazar N. Sopasovic, Alexios Sideris, Sanchoy Das, Xiuli Chao, “Increasing productivity and service quality of the straddle carrier operations at a container port terminal”, *Journal of Advanced Transportation*, October 20, 1999.
29. Michael A. Jordan, S.E., *Quay Crane Productivity*, presented at TOC

- Americas, Miami, November, 2002.
30. Robert S. Johansen, Container Terminal Planning: Meeting the Needs of the Market, JWD Group, 2002.
  31. Takehara, Toru, "Improving Quay Crane Productivity Coping with the Future Ultra-Large Container Vessels", *TOC 2002 Conference*, 2002.
  32. W.C. Ng, K.L. Mak, "Yard crane scheduling in port container terminals", *Mathematical Modelling* 29, 2005.