

컨테이너터미널의 야드배치 형태별 생산성 분석에 관한 연구

A Study on Productivity Analysis by Yard Layout of Container Terminal

최상희 · 하태영**

Choi, Sang Hei · Ha, Tae Young

〈목 차〉

- I. 서론
 - II. 컨테이너터미널의 야드 특성분석
 - III. 야드형태별 대상모델 특성 분석
 - IV. 컨테이너터미널 결합생산성 분석모형
 - V. 대상모델 시뮬레이션 분석
 - VI. 결론
-

Abstract : Currently, port designs and constructions are changed with a design pattern & policy to pursue more high technology and efficiency differently from the past.

The purpose of this paper is to analyze a difference of container terminal productivity by yard layout. Therefore this paper lead to a combined productivity by layout equal to horizontal & vertical layout of parallel berth and horizontal layout of indented berth. And so this paper done selection of the best layout of high efficiency throughout analysing a differency of combined productivity by using a simulation method.

For the simulation analysis, the conditions and data for the simulation model were set/collected to be processed and reflected on the input conditions for simulation. In order to calculate some realistic values of the subject models during simulation processing, the researcher took into consideration the strategies for operation of the apron of the current container terminals as well as for operation of the yard parts. In addition,

* 한국해양수산개발원 부연구위원

** 한국해양수산개발원 책임연구원

in order to suggest some criteria of judgement for actual harbor construction plans and designs, 15 scenarios for each yard layout form were conceived to be simulated.

As a result, anything the three models, the horizontal layout of indented berth is achieved the best combined productivity. Second, the horizontal layout of parallel berth indicates a excellence as compared with vertical layout. Especially vertical layout indicates disadvantaged result as increased more and more productivity in the berth.

This result is the best application plan when it planed a new container and remodeled a conventional container terminal.

Key Word : productivity, layout, simulation, parallel, vertical, berth

I. 서 론

1. 연구의 배경과 목적

컨테이너터미널은 국가의 가장 대표적인 사회간접자본 시설로서 터미널의 생산성은 국가의 경쟁력을 좌우하는 중요한 요소이다. 컨테이너터미널을 이용하는 고객은 세계 각국간의 컨테이너 선박을 운항하는 선사와 화물 수출입의 주체인 기업이다. 컨테이너터미널에 대한 고객들의 요구는 컨테이너 주고객인 선사와 기업의 요구로 나누어 볼 수 있다.

선사의 입장에서는 신속한 하역을 통해 선박의 정박시간을 단축시켜 보다 많은 운항횟수를 가져가는 것이 목표이며, 기업과 화주의 입장에서는 보다 신속하게 컨테이너 화물을 수출입하는 것이 주요 요구사항이라 할 수 있다.

따라서, 이러한 고객들의 요구에 대하여 컨테이너터미널은 보다 높은 서비스를 제공하기 위해 터미널의 생산성을 증가시키려 하고 있으며 대형 선사들을 유치하기 위한 서비스 향상은 세계 주요항만 간의 경쟁으로 확산되고 있다.

컨테이너터미널의 생산성은 안벽, 이송, 야드의 효율성, 터미널의 주요 시설 및 배치 형태 등 터미널 구성요소에 따라 달라질 수 있으나 이중 터미널 구성요소들의 중간 연계점인 야드(장치장)의 배치형태와 운영에 따라 크게 달라질 수 있다. 즉, 일반적 개념에서 안벽생산성은 장비의 능력에 따라 좌우되지만 야드에서의 생산성은 터미널 내부 이송트럭의 생산성, 야드장비의 생산성, 외부 이송트레일러의 정시성, 야드의 배치와 동선의 효율성 등 다양한 복합적 요인에 의해 결정된다.

현재 운영되고 있는 컨테이너터미널의 물류흐름은 야드에서 가장 많은 병목현상이 발생되고 있다. 컨테이너를 보관하는 야드는 야드의 구성, 배치, 적용장비 등에 의해 컨테이너터미널의 생산성을 좌우하는 가장 중요한 요소로 작용하고 있다.

현재까지 국내의 대부분의 컨테이너터미널은 야드블록 배치의 효율

성에 따른 설계와 건설보다는 기존에 운영되고 있는 터미널의 배치형태를 그대로 답습하고 있는 상황이다. 국내에서 운영 중이거나 계획 중인 컨테이너터미널의 야드배치 형태는 대부분 안벽에 대해 수평배치의 블록형태를 가지고 있다. 그러나 최근 평행식 안벽으로 건설된 항만에서의 자동화 장비의 등장으로 내부 및 외부트럭의 동선분리를 위해 수직배치의 야드 레이아웃이 등장했으며, 나아가 동선거리 단축을 위한 야드 레이아웃을 적용하는 굴입식 안벽(Indented Berth)의 터미널도 등장하고 있다. 자동화 터미널로 운영 중인 대표적 터미널인 네덜란드의 ECT(Europe Container Terminal), 독일의 CTA(Container Terminal Altenwerder)와 국내에서 계획 중인 광양항 3단계2차 자동화 컨테이너터미널의 경우 수직배치의 야드배치 형태로 설계·건설되고 있고 네덜란드의 Ceres Paragon 터미널의 경우 동선거리 단축을 위한 야드 레이아웃을 적용하여 안벽생산성 향상과 더불어 전반적인 터미널의 생산성 증가를 유도하고 있다.

현재까지 컨테이너터미널의 계획과 설계가 컨테이너터미널의 생산성에 어느 정도의 영향을 미치는지에 대한 분석 없이 과거의 배치형태를 적용하여 설계돼 왔다면 향후 컨테이너터미널의 계획과 설계는 다양한 영향요인을 반영한 정량적인 분석을 통해 항만의 효율성을 증가시킬 수 있는 방향으로 계획되고 설계되어야 할 것이다. 본 연구에서는 컨테이너터미널에 있어서 다양한 야드배치 형태별로 터미널의 생산성에 미치는 영향을 분석해보았다.

2. 연구의 범위

본 연구는 운영 중이거나 계획 중인 대형 컨테이너터미널을 대상으로 하며, 4개 선석의 규모인 84만㎡[1,400m(안벽길이)×600m(터미널 깊이)]를 가진 컨테이너터미널 중 1개 선석이 차지하는 터미널 규모로서 평행식 안벽의 경우 350×600m, 굴입식 안벽의 경우 580×455m를 연구범위로 설정한다. 이 중 야드배치 형태에 따른 터미널 생산성을 최종 평가지표

인 결합적 요소에 따른 안벽, 야드, 이송장비의 생산성으로 설정하고 이를 분석하기 위해 시설물 영역을 제외한 안벽영역과 야드영역만을 대상으로 세부적 연구범위를 설정한다.

3. 선행연구 검토 및 본 연구의 차별성

선행연구에서는 유인터미널의 경우 하역시스템별로 수평배치형의 야드 레이아웃을 위주로 연구했으며, 무인자동화터미널의 경우 수직배치 야드 레이아웃을 위주로 연구하였다. 양창호 외(2000)는 자동화 터미널 배치설계의 일환으로 설계방안을 제안하였다. 김갑환 외(2001)는 시뮬레이션을 사용한 자동화 컨테이너터미널 레이아웃의 평가에서 수평 및 수직배치에 대한 AGV(Automated Guided Vehicle)의 라인수 및 라인운영방안을 제시하였다. 또한 최용석 외(2004)는 컨테이너터미널의 최대 효율성을 달성하기 위해 RTGC(Rubber Tired Gantry Crane) 하역시스템을 가진 야드의 수평배치 형태를 대상으로 시뮬레이션을 이용하여 최적의 야드트랙터 수량을 추정하였다. Chin-I. Liu 외(2002)는 자동화 컨테이너터미널의 하역시스템 형태별 성능과 비용분석을 수행하였고, 2003년에는 AGV를 이용하여 자동화 컨테이너터미널의 트래픽을 고려한 안벽장비의 성능분석을 수행했다.

선행연구 검토에서 살펴보았듯이 기존의 연구는 하나의 야드 레이아웃에서 최적의 장비대수 추정이나 고정된 배치형태를 제안하였고 자동화 컨테이너터미널에 한정되어 수직 및 수평 배치안에 대하여 성능분석을 통한 터미널의 효율성 차이를 도출하였다. 그러나 자동화 컨테이너터미널은 터미널 내부 이송장비의 무인 자동화 운영에 따라 내외부 이송장비 동선의 교차가 발생하는 수평배치 형태의 설계가 불가능하므로 기존 논문의 현실 적용성이 떨어진다.

본 연구에서는 3가지의 야드배치 형태에 따른 각 구성요소들의 생산성 영향을 분석하였기 때문에 기존의 RTGC 하역시스템과 관련하여 연구된 장비의 효율성 및 생산성 분석연구, 현실적용성이 떨어지는 자동

화 컨테이너터미널에 적용한 수직·수평배치 형태에 따른 생산성 분석 연구와 차별화된다. 따라서 현재 국내 대형 컨테이너터미널에서 계획되고 있는 RMGC(Rail Mounted Gantry Crane) 하역시스템을 기반으로 하여 현실적으로 운영되고 있거나 운영가능성이 높은 하역시스템을 가진 3가지 대상모델을 제시하고 모델의 배치형태에 따른 터미널 생산성을 비교 분석해보았다.

4. 연구의 방법

일차적으로 컨테이너터미널의 기능, 구성요소, 영역별 정의, 시스템적 특성을 분석하고, 본 연구에서 대상으로 하고 있는 컨테이너터미널의 야드배치 형태별로 종류, 규모, 적용장비 및 터미널 로지스틱스를 분석한다. 각 기초적인 분석을 통해 컨테이너터미널에서 각 장비별로 터미널 생산성에 영향을 주게 되는 안벽장비, 이송장비, 야드장비, 반출입장비의 생산성 분석모형을 설정하고 이들 네 가지 장비와 외부트럭이 야드와 연계되었을 때 컨테이너터미널 생산성을 도출하기 위한 결합 생산성 모형을 수립한다.

마지막으로 본 연구에서 제안된 컨테이너터미널 생산성 모형을 바탕으로 항만시스템의 복잡한 기능과 연계성을 구현하기 위한 모델을 작성하여 시뮬레이션 분석을 수행한다.

시뮬레이션 분석에서 3가지 모델별로 안벽장비 대수의 변화, 이송장비대수의 변화를 시나리오로 설정하고, 시나리오에 따른 야드배치 유형별 터미널 생산성을 도출해 낸다. 이를 통해 야드형태별로 동일한 장비를 투입했을 경우 어떤 형태의 배치안이 가장 효율적인지를 살펴보고 야드형태와 터미널 생산성과의 상관관계를 분석한다.

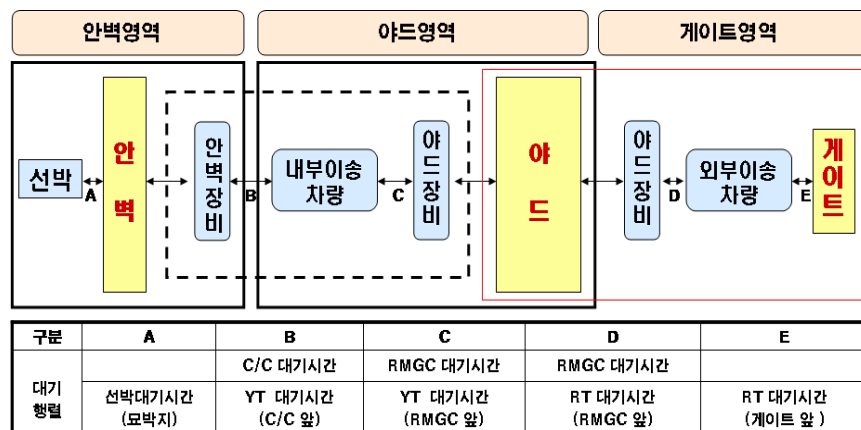
II. 컨테이너터미널의 야드 특성분석

1. 컨테이너터미널 하역시스템 특성

컨테이너터미널 하역시스템은 세부구성요소 간의 연계관계가 하나의 시스템으로 구성된 복합시스템으로 본 연구에서는 대기행렬이론(queueing theory)을 적용하여 터미널의 하역시스템을 정의하였다.

대기행렬이론을 적용하면 터미널에서의 입항선박, 내·외부이송차량 등은 대상고객(customer)으로, 작업영역인 안벽, 야드, 게이트는 서버(server)로 간주될 수 있다. 서버에는 안벽장비, 야드장비, 입출구레인 등과 같은 서비스 개체들이 존재하며 터미널 하역작업인 양하, 적하, 반입, 반출, 이적작업을 반복적으로 수행하는 복합시스템으로 구성되어 있다.

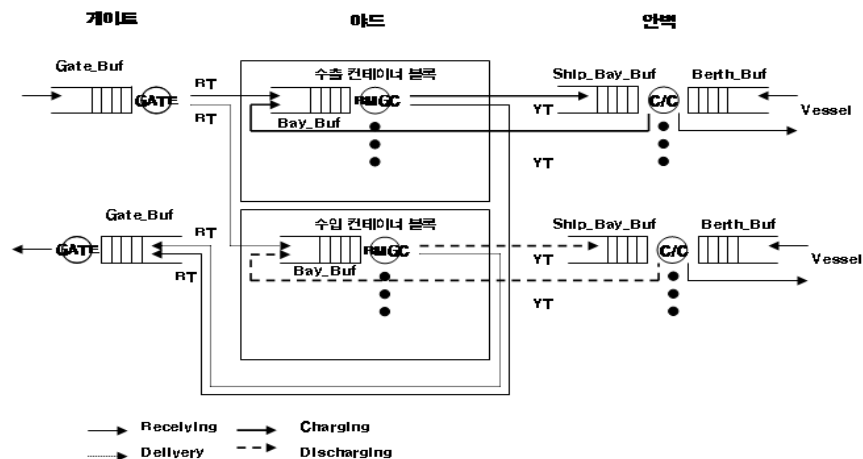
〈그림-1〉 컨테이너터미널 하역시스템



〈그림-1〉은 컨테이너 터미널의 하역시스템을 묘사한 것으로 하역시스템을 구성하는 개체들 간의 하역작업관계와 대기관계를 중심으로 나타낸 것이다.

<그림-1>에서 보면, 각 하역장비 간의 연계시 대기가 발생을 하게 되며 A에서 안벽에 접안하기 위한 선박대기시간, 안벽에서 C/C(Container Crane)와 YT(Yard Tractor) 간의 C/C 대기시간, YT 대기시간, 야드에서 RMGC 대기시간, YT 대기시간, RT(Road Trailer) 대기시간, 게이트에서 RT 대기시간이 발생하게 된다. 일반적으로 컨테이너터미널은 C/C-YT-RMGC 간의 순환작업 체계를 가지고 있다. 따라서 C/C와 YT 간의 대기가 야드에서의 RMGC 작업에 영향을 미치게 되어 야드에서의 RMGC 작업 대기현상에 따라 YT 대기가 발생하게 되고 이는 정시에 수행되어야 할 C/C의 작업에 영향을 주게 된다. 반출입 하역에 있어 RMGC-RT-게이트 간의 대기행렬도 이와 같은 현상을 가지게 되며 모든 구성요소들이 복합적으로 연계되어 생산성에 영향을 미치게 된다. 이와 같이 컨테이너터미널을 복합시스템으로 간주할 경우 이를 대기행렬 네트워크(Queueing Network)¹⁾로 표현하면 다음의 <그림-2>와 같다.

<그림-2> 컨테이너터미널의 대기행렬 네트워크



자료 : 최용석 · 하태영, “지식기반 시뮬레이션에 의한 컨테이너터미널 설계방안”, 「해양정책연구」, 2005

1) Legato, P.& Mazza R., “Berth Planning and Resources Optimization at A Container Terminal via Discrete Event Simulation”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 133, No. 3, 2001.

<그림-2>는 컨테이너터미널의 하역시스템을 대기행렬 네트워크로 재구성한 것으로 안벽, 야드, 게이트 작업영역에서의 서비스 대기현상을 잘 묘사하고 있으며, 시스템 내에 존재하는 개체수에 따라 복잡성이 증가하는 구조를 가지고 있음을 알 수 있다. 이러한 형태로 구성된 터미널의 하역시스템을 대상으로 하여 생산성을 분석할 경우에는 다양한 확률 변수들을 복합적으로 고려할 필요가 있다.

2. 야드와 터미널 생산성과의 상관관계

Ward & Leschin(1989)²⁾에 따르면 야드의 생산성 영향인자는 야드의 면적, 형태, 배치, 운영방법, 야드장비의 사양과 특성, 야드와 연계되는 관련 장비의 사양, 특성 등과 밀접한 관련이 있다. 이 중 야드배치는 터미널의 하역시스템, 하역장비, 부지 및 안벽의 형태에 따라 달라지며 배치형태는 이송장비의 동선, 이송장비와 연계되는 안벽장비와 야드장비 등의 작업 생산성에 관계되기 때문에 야드의 생산성 영향인자 중 가장 중요한 요인이라 할 수 있으며 터미널 전체의 생산성에도 영향을 미치게 된다.

즉, 컨테이너의 물류흐름에 있어 야드배치 형태에 따라 3가지 요소에서 조건변화가 발생한다. 첫째, 야드의 배치에 따라 안벽크레인과 야드를 이동하는 이송장비의 이동거리가 달라지게 되며, 둘째, 컨테이너의 야드적재 과정에서 야드의 배치 등 야드를 구성하는 블록의 형태별 상황에 따라 컨테이너 종류별 장치위치가 달라진다. 셋째, 이와 같은 야드의 배치형태는 야드적재 상태뿐만 아니라 야드장비의 블록이동과 작업 영역에 대한 야드장비 작업부하의 배분과도 밀접한 관계가 있다.

수평배치형태의 야드에서 야드장비는 작은 범위의 베이(Bay)를 이동하거나 정위치에서 이송장비와의 컨테이너 전송작업을 수행한다. 그러나 수직배치형태의 야드는 이송장비가 일정한 전송영역(Kiosk)에 위치

2) Thomas J. Ward & Thomas M. Leschin, *Productivity Measurement and Factors Affecting Container Terminal Productivity*, 1989.

하면 야드장비가 컨테이너 전송작업을 통해 원하는 위치에 적재하기 위해 긴 블록을 이동하여 장치하게 된다. 그러므로 수직배치형태의 야드는 야드장비의 신속한 이동속도와 수평배치에 비해서 많은 이동을 필요로 한다.

이와 같이 터미널의 야드배치 형태에 따라 하역장비 간의 생산성은 서로 달라질 수 있으며, 이는 곧 터미널의 하역생산성에도 많은 영향을 미치게 된다.

Ⅲ. 야드형태별 대상모델 특성 분석

1. 대상모델의 종류

야드배치 형태는 안벽에 대한 블록의 방향을 기준으로 할 때 크게 수직형태와 수평형태의 2가지로 나누어진다. 장치장의 블록방향이 안벽방향과 평행하게 놓이는 수평형태와 수직으로 놓이는 수직배치형태로 구분된다. 본 연구에서는 수평배치 2개안과 수직배치 1개안의 총 3가지 배치형태를 대상모델로 삼고 있다.

대상모델 I (단현/수평배치)³⁾은 국내외에서 보편적으로 운영되고 있는 터미널의 형태이며, 대상모델 II(단현/수직배치)⁴⁾는 유럽지역의 일부 자동화 터미널에서 YT 대신 AGV를 이송장비로 채택하여 적용되고 있는 터미널에 해당한다. 대상모델 III(양현/수평배치)⁵⁾는 굴입식 양현 하역시스템으로 최근에 개장하여 시범적으로 운영되고 있는 터미널에 해당한다.

3) 일반적으로 대부분의 터미널에 적용된 야드배치 형태로 국내터미널의 경우 모두 수평배치형태를 적용하고 있음.

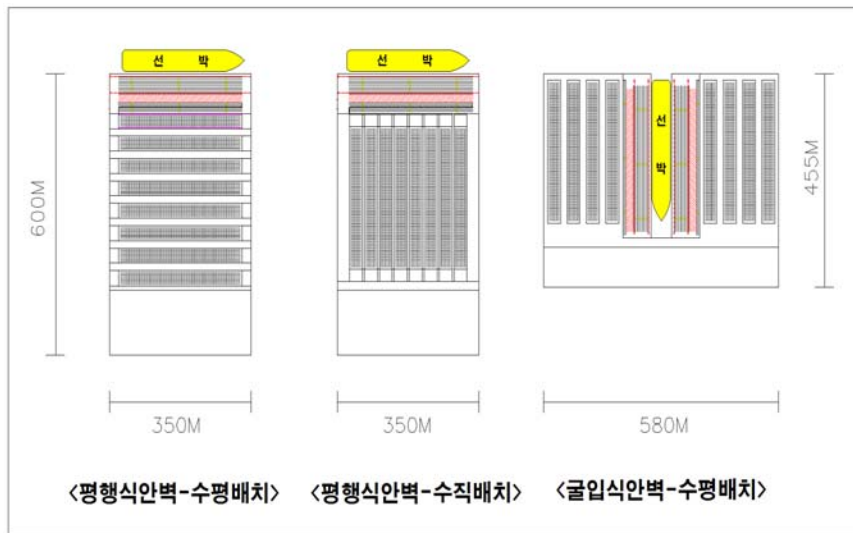
4) 유럽의 네덜란드(ECT, 1991), 독일(CTA, 2002)에서 운영 중인 형태로 안벽과 야드 간의 컨테이너 이송을 자동화한 형태임.

5) 최근에 개장하여 시범적으로 운영중인 네덜란드의 Ceres Paragon Terminal의 적용시스템임.

〈표-1〉 분석 대상모델 유형

구분	안벽형태	야드형태	특성
모델 I	평행식	수평형	대부분의 터미널에 적용된 형태
모델 II	평행식	수직형	일부 자동화 터미널에 적용된 형태
모델 III	굴입식	수평형	현재 시범적으로 적용된 형태

〈그림-3〉 야드배치 형태별 대상모델



2. 대상모델의 규모

대상모델의 규모는 현재 국내에서 운영 중이거나 건설 중인 대형 컨테이너터미널의 선석당 차지하는 면적을 나타낸 것이다. 일반적으로 대형 컨테이너터미널의 선석당 안벽길이는 350m,⁶⁾ 터미널 깊이는 600m로서 야드가 차지하는 면적은 내부 이송도로와 작업도로를 포함하여 터미널 전체의 약 60% 내외이며 운영건물을 포함한 각종 건물들이 입지

6) 일반적으로 5천TEU급 이상의 선박이 접안 가능한 안벽길이로서 대형 컨테이너 터미널의 운영이나 건설에 적용되는 표준 안벽길이임.

하는 시설물의 면적 비율은 약 23% 내외이다.

대상모델 III의 경우 현재 국내에서는 운영되거나 계획 중이지는 않지만 향후 1만TEU급 이상의 초대형 컨테이너선이 등장하였을 때 안벽생산성을 극대화할 수 있는 형태로서 대상모델 I, II의 터미널 면적과는 동일하지는 않으나 영역별로 거의 유사한 면적을 설정하였다.

〈표-2〉 분석 대상모델의 영역별 규모

구분	안벽길이	터미널 규모	야드깊이	시설물면적
대상모델 I	350m	350m×600m	383.32m	49,000m ²
대상모델 II	350m	350m×600m	375.12m	49,000m ²
대상모델 III	350m	580m×455m	370.50m	60,900m ²

주 : 1) 각 대상모델별 규모는 현재 국내에서 건설중이거나 운영중인 대형터미널의 평균 면적을 참조

2) ()는 전체 터미널 면적 대비 비율을 나타낸 것임

대상 모델의 야드 블록 구성은 45베이×9열 구조의 블록을 총 8개 배치하도록 하였으며, 이때 바닥면적은 총 3,240TGS으로 3가지 대상모델에 대해서 동일한 저장규모를 가지도록 설정하였다.

〈표-3〉 분석 대상모델 야드의 계획 TGS

구분	블록수	베이수	열수	TGS
대상모델 I	8	45	9	3,240
대상모델 II	8	45	9	3,240
대상모델 III	8	45	9	3,240

3. 대상모델의 적용장비 및 사양

대상모델의 생산성은 하역장비의 종류에 많은 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 야드배치 형태에 따라 터미널 생산성에 미치는 영향을 분석하기 때문에 각 대상모델별 안벽장비, 이송장비, 야드장비는 모두

동일한 장비와 성능을 가지는 것으로 가정하였다.

대상모델에 사용되는 하역장비의 종류는 안벽장비의 경우 SHST (Single Trolley Single Hoist) 타입의 C/C, 야드장비의 경우 RMGC, 이송장비의 경우 YT를 적용하는 것으로 설정하였다.

4. 대상모델의 로지스틱스

컨테이너터미널의 생산성 분석모형을 수립하기 위해서는 터미널 내 로지스틱스 분석이 필요하다. 로지스틱스 분석에는 수입 컨테이너의 경우 컨테이너가 선박에서 하역되어 야드에 장치되고 게이트로 나아가기까지의 이동경로와 이 때 사용되는 장비가 포함되며 수출 컨테이너의 경우 게이트로 진입하여 야드를 거쳐 선박에 장치되기까지를 나타낸 것이다.

일반적으로 컨테이너터미널에서의 화물구성은 수입 컨테이너, 수출 컨테이너, 환적 컨테이너 3가지로 나누어지며 일반적으로 수입 컨테이너의 경우 선박에서 하역된 컨테이너가 외부로 쉽게 반출을 하기 위해 대부분 야드장치장 후면 블록에 장치를 하게 된다. 수출 및 환적 컨테이너의 경우 선박에 적재를 할 때 YT의 동선거리를 줄이기 위해 해측에 가까운 블록으로 야드장치를 한다.

컨테이너가 안벽↔야드↔게이트 영역으로 이동할 때 각 영역별 사용되는 장비는 안벽에서 C/C, 안벽과 야드 간의 이동시 YT, 야드에서 적재시 RMGC, 야드에서 외부로 반출시 RT가 사용된다.

〈표-4〉 화물구성별 컨테이너 흐름

화물구성	컨테이너 흐름
수입 컨테이너	선박→C/C→YT→RMGC→수입 컨야드→RMGC→RT→게이트
환적 컨테이너	선박→C/C→YT→RMGC→환적 컨야드→RMGC→YT→C/C→선박
수출 컨테이너	게이트→RT→RMGC→수출 컨야드→RMGC→YT→C/C→선박

대상모델 3가지 모두 동일한 하역장비, 이송장비가 사용되며 취급화물의 구성도 동일하나 야드에서의 배치형태가 서로 상이하기 때문에 이송장비의 동선체계가 서로 달라진다.

<그림-4>는 각 대상모델별로 이송장비의 이동경로를 나타낸 것이다. <그림-4(a)>는 평행식 안벽에서 수평배치 형태의 동선을 나타낸 것이며, <그림-4(b)>는 평행식 안벽의 수직배치 형태의 동선, <그림-4(c)>는 굴입식 안벽에서의 수평배치 형태의 동선을 나타낸 것이다.

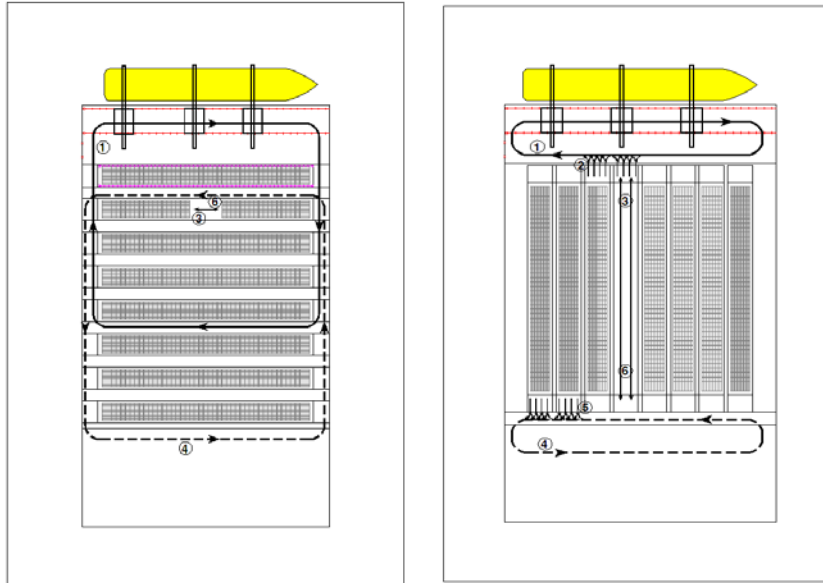
<그림-4(a)>~<그림-4(c)>에서 보면 ①이 터미널 내부 이송장비인 YT의 이동패턴이며 ④가 외부 반출입 장비인 RT의 이동 패턴이다. <그림-4(a)>, <그림-4(c)>의 경우 블록과 블록 사이에 각각 도로 4차선이 배치되어 있으며 블록과 인접한 각 1차선은 작업로, 내부 2차선은 작업이 끝난 차량의 주행로로 이용된다. 컨테이너 장치를 위한 야드블록 진입시 수평주행로는 YT, RT 모두 터미널의 통행흐름을 원활하게 하기 위해 일방통행으로 운영되며 수직주행로의 경우 양방통행으로 운영된다.

<그림-4(a)>, <그림-4(c)> 배치형태의 야드장비 운영특성은 YT나 RT 등 이송장비가 목표로 하는 RMGC에 도착하여 작업을 수행하기 때문에 RMGC의 갠트리(Gantry) 이동이 적은 범위 내에서 움직인다(<그림-4(a)>, <그림-4(c)> ③, ⑥ 참조). 그러나 <그림-4(b)> 배치형태의 야드장비 운영특성은 야드장비로 컨테이너 전송을 위해 해측부와 육측부에 전송영역을 두고 동 영역에서 컨테이너 작업이 이루어지기 때문에 약 300m에 걸쳐 RMGC의 빈번한 갠트리 이동이 이루어진다(<그림-4(b)> ③, ⑥ 참조).

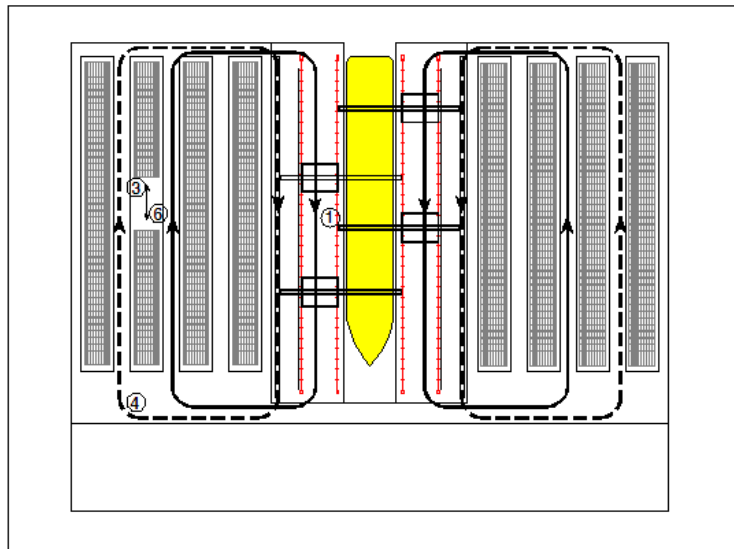
특히 3가지 대상모델은 서로 다른 야드배치 형태를 가지고 있어 YT나 RT와 같은 이송장비의 평균 이동거리가 달라진다. 또한 야드장비의 갠트리 이동거리도 다르기 때문에 동일한 물동량을 처리해야 한다면 각 배치형태별로 투입되는 소요 장비대수가 달라지게 된다. 바꾸어 말하면 세 가지 모델에 동일한 하역장비를 투입하게 된다면 C/C-YT-RMGC가 연계되어 서로 영향을 미치는 상황에서 터미널의 생산성이 달라지게 된다는 것을 의미한다. 이는 곧 야드배치 형태가 터미널의 생산성을 결정짓는 결정적 요소로 작용하게 된다고 말할 수 있다.

〈그림-4〉 이송장비의 동선형태

(a) 수평배치의 동선(평행식안벽) (b) 수직배치의 동선(평행식안벽)



(c) 수평배치의 동선(굴입식안벽)



IV. 컨테이너터미널 결합생산성 분석모형

본 연구의 생산성 분석모형은 안벽장비 모형, 이송장비 모형, 야드장비 모형, 반출입 모형 등 총 4개의 단위 모듈로 구성되며 각 모듈이 상호 연동관계를 가지는 결합생산성 모형으로 통합된다.

결합생산성 분석모형은 안벽모형-이송모형-야드모형-반출입모형으로 상호간 연동관계를 가지고 있어 안벽의 생산성, 이송장비의 생산성, 야드장비의 생산성, 반출입 외부차량의 생산성 등 각각의 생산성을 산출하기 위해서는 타 영역의 장비들이 서로 연계되어 영향을 미칠 수 있는 결합상태 지점을 고려해야 한다.

따라서, 4개의 단위모형을 결합한 결합적 상태전이도를 수립하여 결과값을 산출하기 위한 최종 결합생산성 모형을 수립한다.

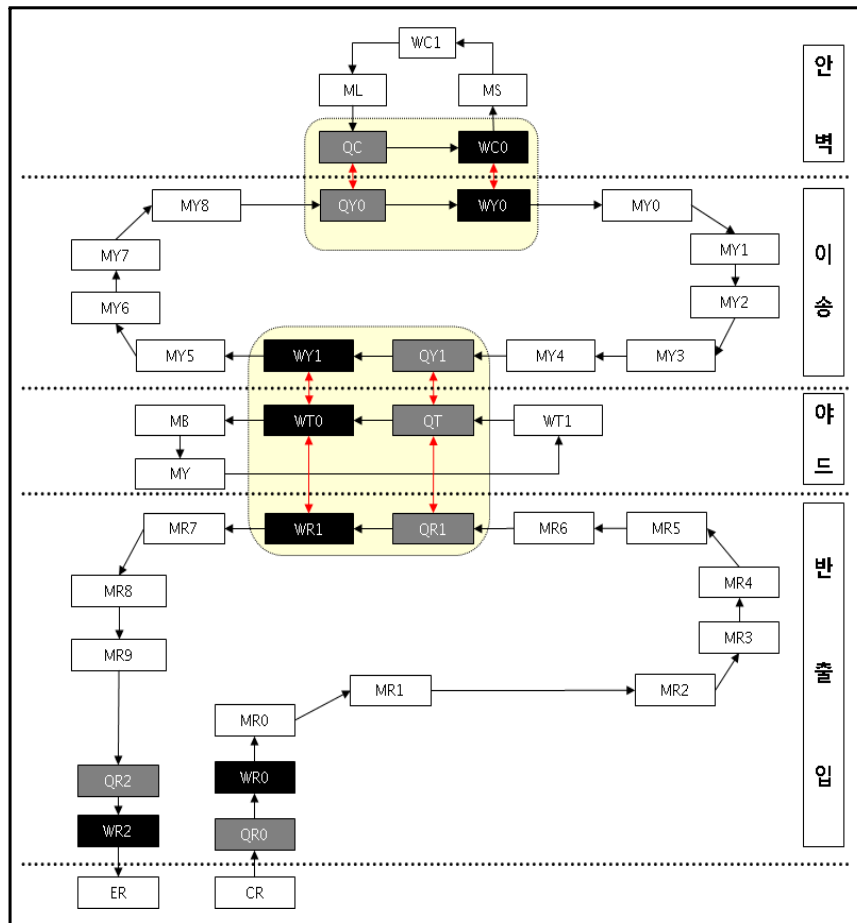
안벽장비-이송장비-야드장비-반출입 차량을 결합한 작업상태 전이모형은 다음 <그림-5>, <그림-6>과 같으며 이를 바탕으로 기존의 안벽, 이송, 야드, 반출입 모형을 결합시켜 최종적인 결합생산성 모형을 기반으로 시뮬레이션 모델에 적용하여 컨테이너터미널 생산성 분석을 수행한다. 전이모형을 살펴보면 <그림-5>의 수평배치 형태의 결합적 작업상태 전이모형을 살펴보면 안벽영역의 경우 타 장비와의 연계상태(W-), 대기상태(Q-), 이동상태(Q-) 등 총 5개의 작업상태로 표시되며 이송영역의 경우 타 장비와의 연계상태, 이동상태, 대기상태 등을 포함하여 총 13개의 작업상태, 야드영역의 경우 5개의 작업상태, 반출입영역의 경우 총 16개의 작업상태로 작업전이모형이 수립된다. <그림-5>, <그림-6>은 안벽↔이송↔야드↔반출입 간의 컨테이너 이동시 장비의 작업동작을 세분화시킨 모형이다.

결합모형을 살펴보면 안벽-이송영역 간 작업 및 대기상태에서 결합적 영향요인이 발생하고, 이송-야드-반출입영역 사이의 작업 및 대기상태에서 결합적 영향요인이 발생한다는 것을 알 수 있다.

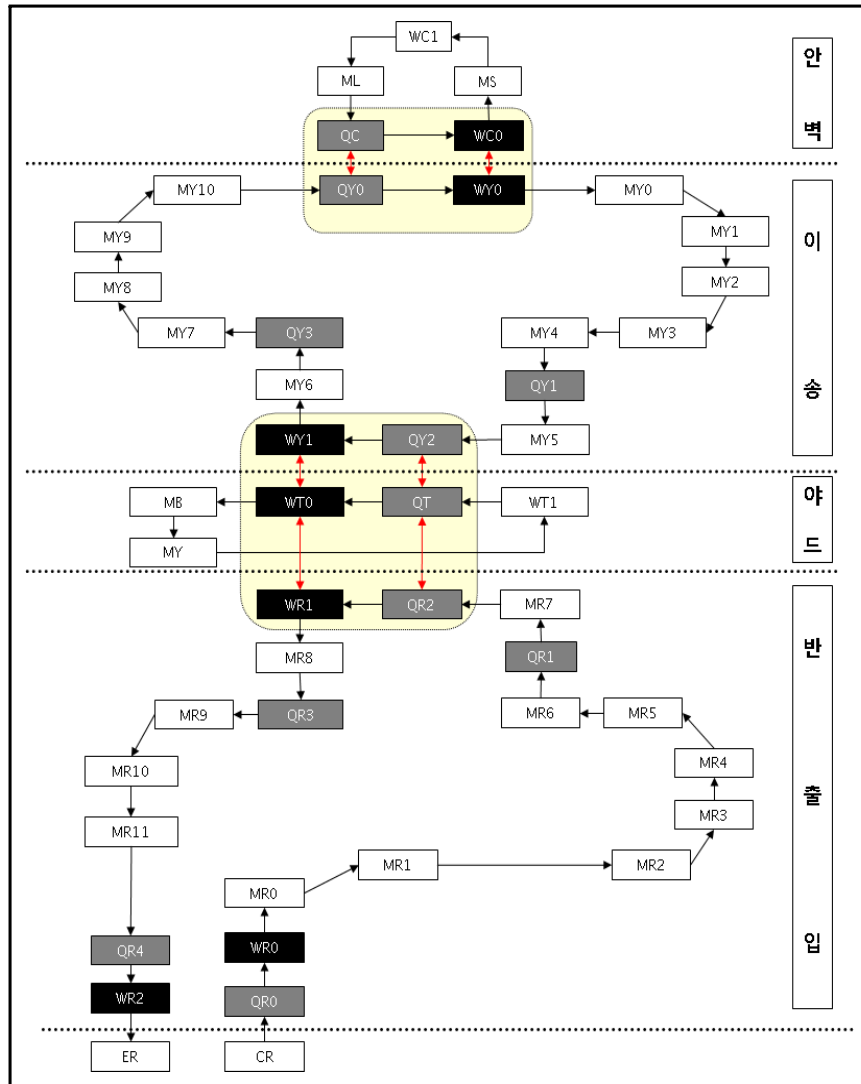
시뮬레이션 모델작성을 위한 결합모형은 각 단위별로 수립된 생산성 분석모형의 연계점을 연결시킴으로써 결합생산성 분석모형을 수립할

수 있으며 이를 바탕으로 시물레이션 모델을 수립하여 각 대상모델별 생산성을 시물레이션 분석한다.

〈그림-5〉 결합적 작업상태 전이모형(수평배치 : 대상모델 Ⅰ, Ⅲ)



〈그림-6〉 결합적 작업상태 전이모형(수직배치 : 대상모델 II)



V. 대상모델 시뮬레이션 분석

본 연구의 분석 모델은 안벽⇔이송⇔야드⇔반출입 작업이 상호 연동된 시뮬레이션 모델로 3가지 야드배치 형태에 대해 각각 개별적으로 시스템을 구현하였다. 시뮬레이션 분석을 위한 모델 구현에는 컴퓨터 범용언어인 Visual Basic 6.0이 사용되었으며, 각 대안별로 15개의 시나리오를 각각 반복 수행하여 얻어진 결과를 분석하였다.

1. 시뮬레이션 구성

1) 입력조건

시뮬레이션 수행을 위한 입력자료는 크게 하역정보, 장비제원, 장치전략의 3가지 유형으로 구분된다. 하역정보는 선박과 게이트에서 발생하는 작업부하량으로 선박의 경우 양적하 작업량과 수출·수입·환적물량비를 입력조건으로 하며 게이트의 경우 반입·반출작업량으로, 본 연구에서는 일일도착차량대수 및 비율을 입력조건으로 사용하였다. 장비제원으로는 안벽과 야드, 이송에 투입되는 장비의 작업 처리속도인 기계적 생산성(개수/시간)값이 사용되며, 게이트의 경우 작업유형별 입출구 통과시간이 적용되었다. 장치전략으로는 양적하 작업과 반출입 작업시 장치장의 블록위치를 결정하는 값으로, 수평배치형 야드에서는 블록의 모든 베이에 대해 균등하게 장치위치를 주는 전략을 사용하였으며, 수직배치형 야드에서는 해측방향과 육측방향을 분할하여 장치위치를 가져가도록 하였다.

〈표-5〉 터미널 기초정보

입력조건	설정값
수출+수출환적비율	49.7%
수입+수입환적비율	50.3%
TEU/Box 비율(40피트비율)	1.56
일일반출입트럭대수	1,313대
일일반출입트럭도착분포	시간대별 비율적용(2005년 허치슨)
게이트 입출구 규모	입구: 3레인, 출구: 2레인
게이트 통과시간	입구: 73초, 출구: 20초

〈표-6〉 장비제원

구분		설정값
C/C	이동속도	• 수직: 부하시(90미터/분), 무부하시(180미터/분) • 수평: 부하시(240미터/분), 무부하시(240미터/분)
	기계적생산성	• 45(개/시간)
RMGC	이동속도	• 2.5(미터/초)
	기계적생산성	• 수평형: 45.75(개/시간), 수직형: 69.36(개/시간)
YT/AGV		• 주행속도: 수평형(5미터/초), 수직형(3.8미터/초)
외부트럭		• 주행속도: 3.8(미터/초)

〈표-7〉 작업유형별 운영전략

구분	운영전략
안벽운영전략	• C/C와 YT는 조별작업 수행 • YT의 안벽 내 동선은 선석단위로 운영
야드운영전략	• 수평배치 - 수출, 수입, 환적블록을 구분하여 운영하고 장치를 화물구성별로 블록내 모든 베이에 균등하게 배분 • 수직배치 - 블록의 길이방향으로 수출, 수입, 환적베이로 구분하여 운영하고 장치를 화물구성별로 블록 내 베이에 균등 배분
이송운영전략	• YT와 RT의 동선은 선석단위로 운영(closed loop)
시뮬레이션 분석	• 모든 대상모델에 동일한 장비대수를 투입하여 분석

2) 시나리오 구성

현재 부산항 9개 컨테이너터미널을 분석한 결과 동일한 규모를 가진 터미널이라도 터미널의 운영 특성에 따라 운영장비 수량을 달리하고 있다.⁷⁾ 따라서 본 연구에서는 1가지의 투입장비 시나리오를 대상으로 비교평가를 해보기에는 현실적용성이 떨어진다고 판단, 다양한 장비투입 시나리오를 설정하여 경우에 따른 배치형태별 생산성 차이를 분석하기 위한 시나리오를 구성한다.

즉, 세 가지 배치형태 간의 차이를 알아보기 위해 각 모델별로 동일한 장비대수를 투입하되 안벽장비, 이송장비 등의 투입장비 대수를 변화시키면서 투입장비 수량의 변화에 따른 모델별 생산성의 차이를 분석해본다.

장비투입에 따른 시나리오는 대상모델별로 총 15개로서 안벽장비는 3~5대, 야드장비는 블록당 2대(총 16대), 이송장비는 C/C 1대당 3~7대까지 투입장비를 변화시켜 시나리오를 구성한다(<표-8> 참조).

시뮬레이션 분석은 대상모델 1, 2, 3별로 각 15회씩, 총 45회에 걸쳐 시뮬레이션을 수행한다.

〈표-8〉 장비 투입 시나리오 구성

구분	안벽장비	야드장비	이송장비	비고
시나리오 1~5	3(대)	16(대)	9~21(대)	(3~7YT)/(1CC)
시나리오 6~10	4(대)		12~28(대)	
시나리오 11~15	5(대)		15~35(대)	

2. 시뮬레이션 수행결과

시뮬레이션 모델에 따른 대상모델별 결합생산성 분석 시뮬레이션을 수행한 결과 총 15개 시나리오에 대한 배치형태별 C/C의 생산성,

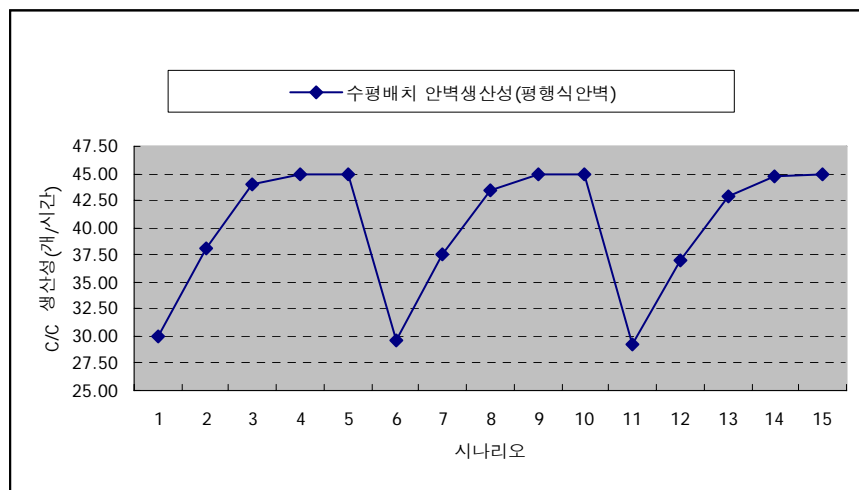
7) 부산항만공사, 「2004년도 부산항 컨테이너 화물처리 및 수송통계」, 2005.

RMGC의 생산성, YT의 선화시간, YT의 안벽대기시간, YT 및 RT의 야드블록에서 대기시간이 산출되었다.

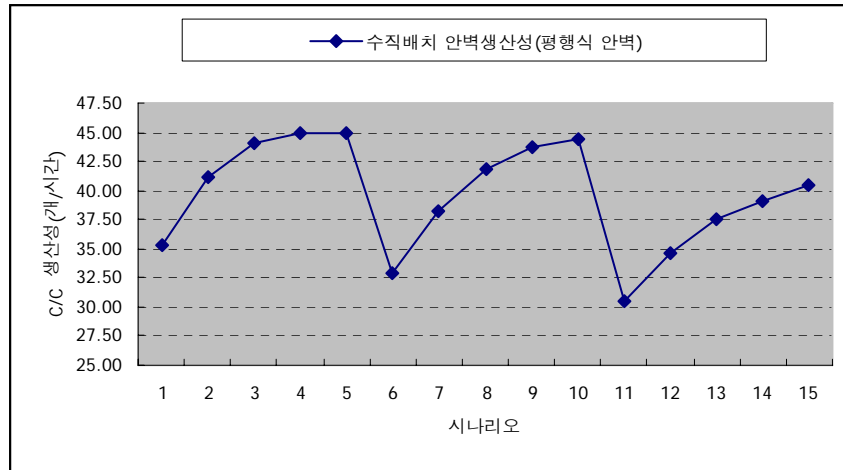
1) 야드배치 특성별 안벽생산성 분석

야드배치 형태별로 장비투입의 변화에 따른 시뮬레이션을 수행한 결과 생산성 측면에서 C/C의 투입대수가 증가할수록 각 배치형태별로 생산성 감소 특성을 보였다. 평행식 안벽의 수평배치형태나 굴입식 안벽의 수평배치형태는 투입되는 안벽장비대수의 수량이 증가할수록 결합생산성에서 미세한 감소세를 보인 반면 평행식 안벽의 수직배치형태는 급격한 감소세를 보여 매우 불리한 배치형태라 할 수 있다. 따라서 항만에서 안벽서비스 수준을 증가시키기 위해 많은 안벽장비를 동시에 투입하는 현 추세로 보았을 때 수직배치형태는 고생산성의 터미널에 적합하지 않은 배치형태라는 것을 알 수 있다. 또한 이송장비의 투입대수가 증가할수록 모델별로 C/C의 결합생산성은 시간당 45개에 근접하고 있는 것으로 나타났다.

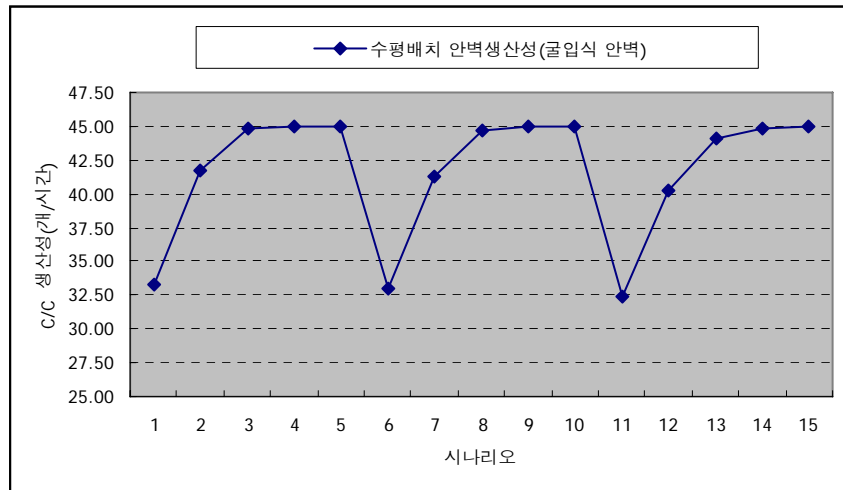
〈그림-7〉 평행식 안벽 수평배치의 안벽생산성 변화



〈그림-8〉 평행식 안벽 수직배치의 안벽생산성 변화



〈그림-9〉 굴입식 안벽 수평배치의 안벽생산성 변화



2) 야드배치 형태에 따른 대상모델 간 결합생산성 비교분석

(1) 대상모델 간 안벽장비 결합생산성 비교분석

시물레이션 결과에 따른 결합적 안벽생산성을 시나리오별로 분석한 결과 굴입식 안벽의 수평배치 형태는 15개 중 14개의 시나리오에서 가장 높은 생산성을 보였다. 이 중 평행식 안벽의 수평배치는 15개 중 3개가 굴입식 수평배치와 공동으로 우수한 결과를 보였고, 평행식 안벽의 수직배치는 1개가 단독, 1개가 공동으로 우수한 결과를 보였다.

특히 수직배치의 경우 안벽의 물량발생이 적은 시나리오인 1~5번 시나리오에서 우수한 결과를 보였으나 안벽의 물량이 증가하게 되면 생산성이 급격하게 감소하는 추세를 보여 배치형태나 야드장비 투입의 개선이 요구된다.

안벽물량이 많이 발생하는 시나리오 12~15까지 굴입식 수평배치와 수직배치와의 생산성은 4.6개에서 6.6개까지 격차를 보이고 있다. 이는 컨테이너터미널의 처리능력에 상당한 영향을 미치는 수치이며 굴입식 수평배치와 평행식 수직배치를 비교해 보았을 경우 굴입식 수평배치가 시나리오별로 최소 0개에서 최대 3.7개까지 차이를 보이고 있다.

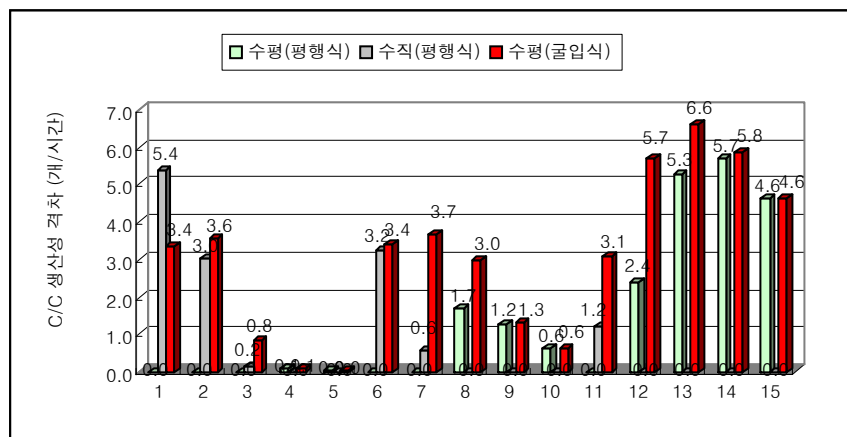
일반적으로 4선식 규모의 시설조건을 가진 컨테이너터미널에서 안벽생산성의 1개/hr 차이는 연간 83,635개의 생산성 차이를 가져오게 된다.⁸⁾ 따라서 굴입식 수평배치와 수직배치 간 6.6개의 생산성 차이를 발생시키는 시나리오 13의 경우 연간 55만 1,992개(82만 7,988TEU)의 처리능력 저하를 가져와 수직배치는 매우 불리한 배치형태라 할 수 있다. 평행식 수평배치형태와 수직배치형태가 가장 많은 5.7개의 생산성 격차를 나타내는 시나리오 14의 경우 연간 47만 6,720개(71만 5,081TEU)의 처리능력 차이를 보이는 배치형태임을 알 수 있다. 따라서 이러한 생산성의 차이는 배치형태에 따라 터미널의 생산성이 좌우될 수 있는 것을 입증하는 결과이다.

8) 선석수 4, 총 운영 C/C대수 16대, 연간운영일수 393일, 일일운영시간 24시간, 선석점유율 60%로 가정시.

〈표-9〉 대상모델별 안벽장비 결합생산성 격차 단위 : 분, 대수

구분	평행식(수평)	평행식(수직)	굴입식(수평)	CC:RMGC:YT 장비조합
시나리오 1	0.0	5.4	3.4	3 : 2 : 3
시나리오 2	0.0	3.0	3.6	3 : 2 : 4
시나리오 3	0.0	0.2	0.8	3 : 2 : 5
시나리오 4	0.1	0.0	0.1	3 : 2 : 6
시나리오 5	0.0	0.0	0.0	3 : 2 : 7
시나리오 6	0.0	3.2	3.4	4 : 2 : 3
시나리오 7	0.0	0.6	3.7	4 : 2 : 4
시나리오 8	1.7	0.0	3.0	4 : 2 : 5
시나리오 9	1.2	0.0	1.3	4 : 2 : 6
시나리오 10	0.6	0.0	0.6	4 : 2 : 7
시나리오 11	0.0	1.2	3.1	5 : 2 : 3
시나리오 12	2.4	0.0	5.7	5 : 2 : 4
시나리오 13	5.3	0.0	6.6	5 : 2 : 5
시나리오 14	5.7	0.0	5.8	5 : 2 : 6
시나리오 15	4.6	0.0	4.6	5 : 2 : 7

〈그림-10〉 대상모델별 안벽장비 결합생산성 격차 분석결과



(2) 대상모델 간 야드장비 결합생산성 비교분석

야드장비 결합생산성을 산출한 결과 전반적으로 수평배치형태가 수직배치에 비해 처리생산성이 높은 것으로 나타났다. 평행식 안벽에서 수평배치와 수직배치 간의 야드 생산성 차이는 시간당 3.6~4.9개까지 차이를 보였으며 굴입식 안벽의 수평배치는 평행식 안벽의 수직배치에 비해 시간당 3.6~5.0개 더 처리하는 것으로 나타났다. 그러나 평행식 안벽의 수평배치와 굴입식 안벽의 수평배치를 비교해보면 굴입식 안벽의 수평배치가 시간당 0.1~0.2개 더 처리하는 것으로 나타났으나 거의 유사한 값을 보였다.

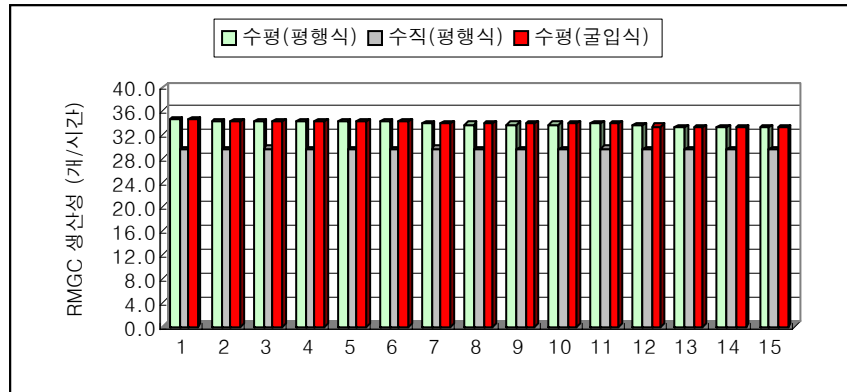
이러한 야드생산성은 C/C와 YT의 투입장비대수가 증가할수록 수평배치와 수직배치 간의 생산성 격차는 줄어드는 패턴을 보였으며 이는 작업물량이 늘어날수록 단위작업당 야드이동거리 비율이 낮아지기 때문인 것으로 판단된다.

〈표-10〉 대상모델별 야드장비 결합생산성 분석결과 값

단위 : 개

구분	평행식(수평)	평행식(수직)	굴입식(수평)
시나리오 1	34.5	29.6	34.6
시나리오 2	34.3	29.7	34.4
시나리오 3	34.1	29.6	34.3
시나리오 4	34.1	29.6	34.3
시나리오 5	34.1	29.7	34.3
시나리오 6	34.2	29.7	34.3
시나리오 7	33.9	29.7	33.9
시나리오 8	33.7	29.7	33.7
시나리오 9	33.7	29.7	33.8
시나리오 10	33.6	29.7	33.8
시나리오 11	33.9	29.7	33.9
시나리오 12	33.5	29.7	33.6
시나리오 13	33.3	29.7	33.4
시나리오 14	33.2	29.7	33.4
시나리오 15	33.2	29.7	33.3

〈그림-11〉 대상모델별 야드장비 결합생산성 분석결과



(3) 대상모델 간 이송장비 결합생산성 비교분석

물량이 증가하는 시나리오 12~15까지는 수직배치의 이송장비 선회시간이 다른 두 모델에 비해 많이 증가된 결과값을 보이고 있다. 이는 수직배치가 수평배치형태에 비해 YT의 이동거리가 적음에도 불구하고 경로상 회전구간이 많거나 야드 및 안벽에서의 대기시간이 많은 데 기인한다.

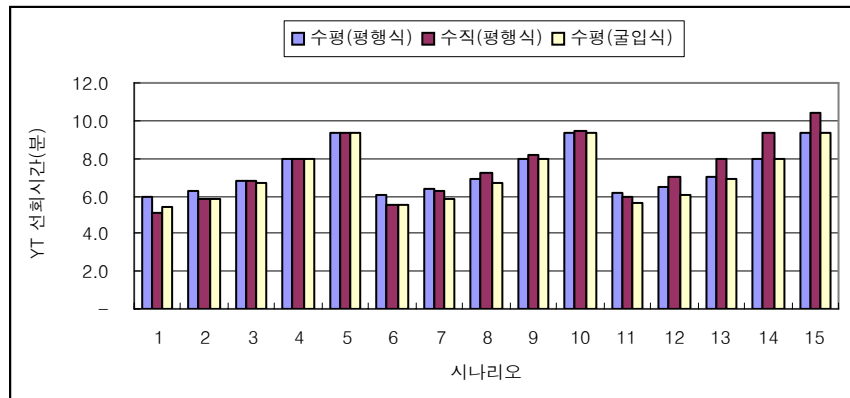
〈표-11〉 대상모델별 이송장비 선회시간 분석결과 값

단위 : 분

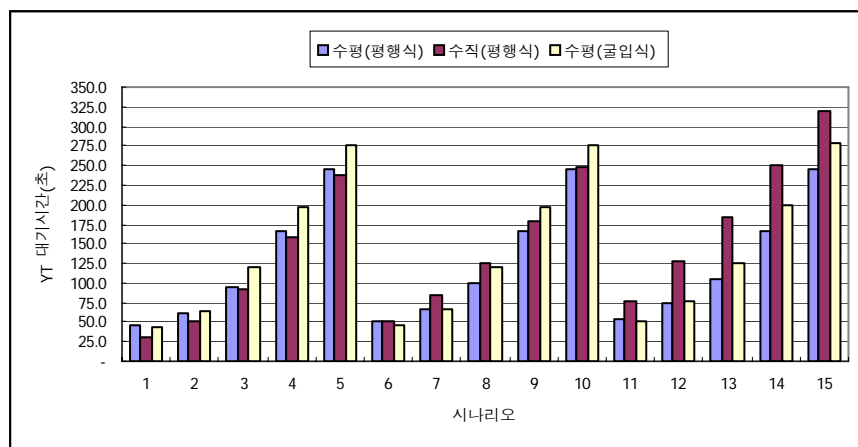
구분	평행식(수평)	평행식(수직)	굴입식(수평)
시나리오 1	6.0	5.1	5.4
시나리오 2	6.0	5.8	5.8
시나리오 3	6.8	6.8	6.7
시나리오 4	8.0	8.0	8.0
시나리오 5	9.3	9.3	9.3
시나리오 6	6.1	5.5	5.5
시나리오 7	6.4	6.3	5.8
시나리오 8	6.9	7.2	6.7
시나리오 9	8.0	8.2	8.0
시나리오 10	9.3	9.5	9.3
시나리오 11	6.2	5.9	5.6
시나리오 12	6.5	7.0	6.1
시나리오 13	7.0	8.0	6.9
시나리오 14	8.0	9.3	8.0
시나리오 15	9.3	10.4	9.3

또한, 처리물량이 증가될수록 수직배치의 이송장비 대기시간이 두 모델에 비해 많은 격차를 나타내고 있는데 물량이 증가할수록 수직배치의 야드장비가 작업부하를 감당하지 못하기 때문에 나타나는 결과이다. 예를 들어 시나리오 15를 참조하면 수직배치의 야드 대기시간이 281초, 수평배치의 야드 대기시간이 55초로서 수직배치가 다른 두 모델에 비해 약 5배 이상 높은 것으로 나타났다.

〈그림-12〉 대상모델별 이송장비 선회시간 분석결과



〈그림-13〉 대상모델별 이송장비 대기시간(안벽+야드) 분석결과



이상의 시뮬레이션 분석결과는 컨테이너터미널의 계획이나 설계시 배치형태의 선택, 컨테이너터미널의 목표생산성에 따른 투입장비대수 등에 대한 의사결정수단으로 활용 가능하며, 이외에도 본 연구의 시나리오 분석결과는 목표 생산성을 가지기 위한 컨테이너터미널을 계획하거나 설계하고자 할 경우 투자 및 운영비용 분석의 근거가 될 수 있는 적절한 투입장비 소요규모를 산출해내는 데에도 활용성이 있다고 하겠다.

<표-12>는 각 투입장비대수별 높은 생산성을 가지는 배치형태를 나타낸 것으로, 야드장비대수를 블록당 2대로 투입할 때 안벽장비의 생산성 효과가 높은 야드배치 선정기준으로 안벽장비의 생산성이 동일한 경우는 두 번째 판단기준으로 야드장비의 생산성을 고려하여 작성한 것이다. 마찬가지로 안벽장비와 야드장비의 생산성이 동일할 경우에는 세 번째 판단 기준으로 이송장비의 투입수량이 가급적 적은 대안을 선정하였다.

결론적으로 시나리오 1(C/C 3대, C/C당 YT 3대)을 제외하고는 안벽장비, 야드장비, 이송장비의 결합생산성 측면에서 굴입식 수평배치가 가장 우수한 배치형태인 것으로 나타났다(<표-9>~<표-11> 참조).

<표-12> 투입장비대수별 배치형태의 선택

YT대수 C/C대수	C/C당 3대	C/C당 4대	C/C당 5대	C/C당 6대	C/C당 7대
3대	평행식(수직)	굴입식(수평)	굴입식(수평)	굴입식(수평)	굴입식(수평)
4대	굴입식(수평)	굴입식(수평)	굴입식(수평)	굴입식(수평)	굴입식(수평)
5대	굴입식(수평)	굴입식(수평)	굴입식(수평)	굴입식(수평)	굴입식(수평)

주 : 1) 야드장비 대수는 블록당 2대 투입으로 고정

2) 모델1 : 평행식 안벽 수평배치, 모델2: 평행식 안벽 수직배치, 모델3: 굴입식 안벽 수평배치

VI. 결 론

본 연구에서는 현재 가장 많이 운영되고 있는 평행식 안벽의 수평배치 컨테이너터미널, 자동화 터미널에서 운영되고 있는 평행식 안벽의 수직배치 컨테이너터미널, 새로운 개념의 굴입식 안벽의 수평배치 컨테이너터미널에 대해 각 배치형태에 따른 컨테이너터미널별 결합생산성을 도출하였으며 고생산성의 배치형태 선정과 배치형태 간 우수성의 정도를 시뮬레이션 결과를 통해 분석해 보았다.

주요 연구결과를 정리하면, 컨테이너 터미널의 3가지 야드배치 형태에 따른 터미널 하역생산성 시뮬레이션 결과 3가지 모델형태 중 굴입식 안벽 수평배치가 전 시나리오에 걸쳐 가장 높은 생산성 결과값을 나타냈으며 평행식 안벽의 수평배치가 두 번째로 우수하고 평행식 안벽의 수직배치가 타 두 모델에 비해 안벽에서의 물량이 증가될수록 많은 생산성 격차를 보여 가장 불리한 배치형태를 가지는 것으로 나타났다.

그러나 본 연구결과는 배치형태에 따른 터미널의 생산성 정도를 분석하였기 때문에 비용적 개념이 포함될 경우 배치형태의 평가는 달라질 수 있다. 즉, 평행식 안벽의 경우 수평과 수직배치의 규모는 동일하나 굴입식 안벽의 경우 안벽이 평행식 안벽에 비해 1개 더 소요되므로 그만큼의 안벽 조성비용이 증가하게 되어 배치형태 선정의 판단 기준이 달라질 수 있다. 따라서 추후 연구로서는 본 연구결과를 토대로 비용적 개념과 생산성 개념을 모두 포함한 평가함수를 배치형태별 선정기준으로 설정하고 보다 심도 있는 연구가 필요하다고 하겠다.

세계 각국의 대형항만들은 대륙별로 중심항만의 입지를 확보하기 위해 막대한 시설투자와 더불어 연구개발을 지속하고 있으며 이러한 항만 환경의 변화는 항만의 주고객인 선사유치를 위한 치열한 경쟁의 일환이다. 컨테이너물동량의 증가에 따라 이를 운송하는 컨테이너선의 초대형화, 그리고 고객에 원활한 서비스를 제공하기 위한 항만시설물들의 변화가 요구되고 있으며 이는 전 세계적으로 첨단항만, 고생산성의 항만 건설을 추구하는 중요한 요인으로 작용하고 있다. 현재의 항만 설계와

건설은 과거의 일률적인 항만의 계획과 설계방식보다는 보다 고생산성, 고효율성을 추구하는 항만설계 방식으로 변화하고 있다.

이에, 본 연구결과에서는 신규 컨테이너터미널의 계획이나 기존 컨테이너터미널을 리모델링할 경우 그 활용방안이 매우 높다 할 수 있으며, 또한 기존 컨테이너터미널에 대한 활용방안으로서 현재 운영되고 있는 배치형태에 대해 적정한 장비대수를 투입하고 있는지, 향후 어느 정도의 장비를 투입해야 터미널 생산성을 증가시킬 수 있는지에 대한 판단 기준을 제공할 수 있을 것으로 본다.

참 고 문 헌

1. 김갑환 · 왕승진 · 박영만 · 양창호 · 김영훈, “자동화 컨테이너터미널에서의 장치장 운영 시뮬레이션 연구”, 「춘계공동학술대회논문집」, 한국경영과학회/대한산업공학회, 2002.
2. 김갑환 · 원승환 · 양창호 · 김영훈 · 배종욱, “시뮬레이션을 사용한 자동화 컨테이너터미널 레이아웃의 평가”, 2001.
3. 박창호, “부산항의 컨테이너 물류시스템 분석에 관한 연구”, 한국해양대학교 박사학위논문, 1992.
4. 부산항만공사, 「2004년도 부산항 컨테이너 화물처리 및 수송통계」, 2005.
5. 양창호 · 최상희 · 최용석, 「결합생산성 분석방법을 통한 항만시스템 취급능력 향상방안」, 한국해양수산개발원, 2004.
6. 윤원영 · 안창근 · 최용석 · 김갑환, “시뮬레이션을 이용한 컨테이너 터미널의 운영계획 평가”, 시뮬레이션학회 논문지, 제7권 제2호, 1998.
7. 윤원영 · 안창근 · 최용석 · 김갑환, “컨테이너 터미널 계획 평가를 위한 시뮬레이션 연구”, 한국항만학회 98추계학술대회논문집, 1998.
8. 이철영, 「항만물류시스템」, 1998.
9. 이호우, 「대기행렬 이론」, 1999.
10. 임진수 · 박병인, 「컨테이너터미널 능력산정에 관한 연구」, 한국해양수산개발원, 1991.
11. 장성용 · 박진우, “시뮬레이션 기법을 이용한 컨테이너 터미널의 운영시스템 결정”, 산업공학 학회지, 제1권 제1호, 1988.
12. 최용석 · 김우선 · 하태영, 「컨테이너터미널의 야드트랙터 소요대수 추정」, 2004.
13. 최용석 · 하태영, “지식기반 시뮬레이션에 의한 컨테이너터미널 설계방안”, 「해양정책연구」, 2005.
14. 한국해양수산개발원, 「부산신항만 남컨테이너부두 민간투자사업 설계」, 2003.
15. Cargo Systems, “Development in Container Handling Technology”, *A Cargo Systems Report*, 1997.

16. Chin-I. Liu, Hossein Jula & Petros A. Ioannou, *Design, Simulation, and Evaluation of Automated Container Terminal*, 2002.
17. Chin-I. Liu, Hossein Jula, Katarina Vukadinovic, Petros A. Ioannou, *Automated Guided Vehicle System for Two Container Yard Layout*, 2003.
18. Itsuro Watanabe, "An Approach to the Automated Container Terminals, Container System Technology", Seminar on Automated Container Terminals by Korea Institute of Machinery & Materials, 1996.
19. Jordan Woodman Dobson, *Simulation Analysis Reports*, Pusan New Port Co, 1999.
20. Lai, K. K., Lam, K., "A Study of Container Yard Equipment Allocation Strategy in Hong Kong", *International Journal of Modelling & Simulation*, Vol. 14, No. 3, 1994.
21. Lai, K. K. and Leung, J. W., "Analysis of Yard Crane Deployment Strategies in a Container Terminal", ICC & IE-96, 1999.
22. Legato, P.& Mazza R., "Berth Planning and Resources Optimization at A Container Terminal via Discrete Event Simulation", *European Journal of Operational Research*, Vol. 133, No. 3, 2001.
23. Roberts C. A. and Dessouky, Y. M., "An Overview of Object-Oriented Simulation", *Simulation*, Vol. 70, No. 6, 1998.
24. Thomas J. Word & Thomas M. Leschin, "Productivity Measurement and Factors Affecting Container Terminal Productivity", *Port & Harbors*, 1989.
25. Yang, C. H., Kim, Y. H., Choi S. H., Bae, J. W., Lee, J. E., "A Study on the system Design and Operation of the Automated Container Terminal", *Korea Maritime Institute*, 2000.