

## 시뮬레이션을 활용한 신기술 항만장비의 생산성 추정

김 동 원 \*

### The Estimation of Productivity Considering New Technology Port- Equipment By Using Simulation

Dong-Won Kim \*

#### 요 약

본 논문에서는 컨테이너터미널에서 탠덤 리프트 안벽크레인과 고생산성 컨테이너 이송차량 Alternative ship-to-yard vehicles를 고려한 시뮬레이션을 활용하여 컨테이너터미널의 생산성 향상 모델을 제안한다. 이 방법의 특징은 탠덤 리프트 안벽크레인과 고생산성 컨테이너 이송차량의 데이터를 도출하고, 회귀분석 함으로써 탠덤 리프트 안벽크레인의 생산성 모델을 추정한다. 탠덤 리프트 안벽크레인은 한 사이클 당 20ft 컨테이너 4개, 40ft 컨테이너 2개를 동시에 취급함으로써 기존의 싱글 안벽크레인보다 이론상 약 2배의 컨테이너 생산성을 증가시키는 장비이고 Alternative ship-to-yard vehicles는 기존의 야드 트랙터보다 더 많은 최대 4TEU의 컨테이너를 운반시킬 수 있는 장비이다. 본 논문에서는 신기술 안벽장비인 탠덤 리프트 안벽크레인과 신기술 이송장비인 Alternative ship-to-yard vehicles를 적용한 시뮬레이션을 통하여 생산성에 관한 데이터를 도출하고 통계 기법인 회귀분석을 통하여 컨테이너 터미널의 생산성의 추정모델을 구해보고자 한다.

▶ Keywords : 탠덤 리프트 안벽크레인, Alternative ship-to-yard vehicles, 시뮬레이션, 컨테이너 생산성, 회귀분석

#### Abstract

In this paper, Improved productivity models of container terminal are provided by utilizing a simulation considering Tandem-lift Quay Crane and transport vehicle of container's high productivity 'Alternative ship-to-yard vehicles.' Feature of this method is deriving the data of tandem-lift Quay Crane and Alternative ship-to-yard vehicles, estimating the productivity model of tandem-lift Quay Crane by using regression analysis. Tandem-lift Quay Crane is equipment of loading and unloading to increase productivity approximately by 2 time existing (single, twin) Quay Crane by dealing with four 20ft containers or two 40ft

•제1저자 : 김동원

•투고일 : 2014. 11. 13, 심사일 : 2014. 11. 24, 게재확정일 : 2014. 12. 17.

\* 고려대학교 산업경영공학과(Dept. of Industrial Management Engineering, Korea University)

containers at the same. Alternative ship-to-yard vehicles can transfer containers(4TEU) more than existing Yard Tractor. This paper is deriving the optimal combination showing the highest productivity by using simulation considering Tandem-lift Quay Crane and Alternative ship-to-yard vehicles on container terminals and developing estimating model of productivity by using regression analysis using data of simulation.

▶ Keywords : Tandem-lift Quay Crane, Alternative ship-to-yard vehicles, Simulation, Productivity of Containers, Regression Analysis

## I. 서 론

### 1. 연구의 목적

우리나라 항만 산업은 우리나라 무역 부문에서 상당히 중요한 역할을 하고 있다. 우리나라 대표 항만인 부산항은 세계에서 물동량이 5번째로 많은 세계적인 항만이다. 이처럼 우리나라 항만 산업은 컨테이너의 생산성을 증가시키기 위해 노력함으로써 컨테이너의 물동량은 점점 증가하고 있는 추세이고, 우리나라 컨테이너 시장은 약 14억 달러에 달하고 있다. 2011년 우리나라 물동량은 역사적으로 가장 높은 물동량을 기록하였다. 부산항의 기록에 따르면 전체적인 물동량은 1600만개를 기록하였다. 또한, 2011년에 부산항은 44,000개의 컨테이너를 취급하였다. 컨테이너의 생산성을 증가시키기 위해 컨테이너 터미널에서는 효율적인 운영전략과 발전된 장비들을 도입하고 있으며, 최근에 탠덤 리프트 안벽크레인인 세계 많은 컨테이너 터미널에서 하역 장비로 선호되고 있다. 탠덤 리프트 안벽크레인은 한 번에 20ft 컨테이너 4개, 40ft 컨테이너 2개를 취급할 수 있는 장비로서 이론적으로 이것은 기존의 하역장비인 싱글, 트윈 안벽크레인보다 약 2배를 더 취급할 수 있다고 여겨지지만 전체 시스템의 효율은 다를 수 있다. 따라서 이송차량의 대기시간, 야드 크레인의 작업시간 등 컨테이너 터미널의 일정에 따라 안벽크레인의 생산성은 모두 달라질 수 있다.

이처럼 신기술 항만장비는 생산성을 증대시킬 수 있는 장비이지만 도입하기 위해서는 막대한 비용을 투자해야만하기 때문에 장비를 도입하는데 어려운 점이 있다. 장비를 도입하기 위해서는 많은 사전조사를 거쳐야 하고 시뮬레이션 실험을

통해 신기술 항만장비가 생산적인 측면에서 타당한지 조사해 볼 필요가 있다. 그래서 본 논문에서는 세계 각국의 신기술 항만장비를 도입한 컨테이너터미널을 대상으로 사전 조사하였고 신기술 항만장비를 우리나라 대표적 항만인 부산항에 도입하였을 때 어떠한 생산성을 나타내는지 시뮬레이션을 개발하여 실험함으로써 생산성을 추정해본다.

본 논문의 목적은 우리나라 컨테이너터미널에서 아직 보편화 되지 않은 신기술 하역장비인 탠덤 리프트 안벽크레인과 고생산성 이송차량인 Alternative ship-to-yard vehicles을 고려한 시뮬레이션을 사용함으로써 컨테이너의 생산성이 얼마나 증가하였는지를 분석하고 생산성이 가장 높은 항만장비들의 최적 조합을 찾아낸다. 또한, 데이터를 통한 회귀분석을 함으로써 최적의 생산성을 나타낼 수 있는데 생산성 추정 모델을 도출한다.

### 2. 관련연구

Choi and Won (2010)은 안벽크레인의 운영과정을 고려하여 차량의 최적 대수를 비교하여 시뮬레이터를 개발하였다.[1] 또한, Zhao 와 Tang (2011)은 컨테이너 터미널에서 안벽크레인과 야드트랙터의 스케줄링 문제를 시뮬레이션으로 개발하였다. 이 논문은 컨테이너 터미널에서 야드트랙터 할당을 적용함으로써 컨테이너의 스케줄링의 변화에 대해 토론하였다. 이 논문에서는 PSO 알고리즘과 CPLEX 소프트웨어를 사용함으로써 컨테이너의 하역시간을 줄이고 컨테이너터미널의 컨테이너가 운반되는 전체적인 운영시간을 줄일 수 있게 되었다.[2] Daganzo (1989)는 컨테이너 터미널의 스케줄에 대해서 연구하였다. 그는 안벽크레인의 스케줄링을 위해 최적의 원리를 기반으로 하여 수행하기 쉽게 나타내었고 이 논문의 결과는 fee/ships으로 나타내어졌다.[3] Avriel et al. (1998)은 어떠한 제약 없이 선박에 싣는 컨테이너의 이

등을 최소화하기 위한 적하 계획을 다루었다. 이 논문은 0-1 이진법 선형계획법 공식을 통해 최적의 해결책을 제시하였다. [4] Kim and Park (2004)은 컨테이너 터미널에서 안벽 크레인의 스케줄링 문제에 대해 연구하였다. 이 논문은 안벽 크레인의 운영과 관련된 제약들을 고려하여 혼합 정수계획법 모델을 적용하였다. 그리고 안벽크레인 스케줄 문제의 최적 해결책을 찾기 위해 분기한정법(B & B)을 사용하였다. 또한, 빠른 시간에 최적에 가까운 해를 찾아주는 탐색 기법인 GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) 기법을 사용하여 모수들의 최선책을 찾을 수 있었고 GRASP의 수행결과는 분기한정법의 결과와 비교하였다. [5] Meisel (2004)은 안벽크레인에서 컨테이너의 적재/하역하기 위한 안벽크레인 스케줄링 문제에 대해 연구하였다. 이 논문은 안벽크레인의 시간제약 하에 스케줄 문제를 해결하는 최적화 문제를 소개하였다. 방법론으로는 나무탐색기법을 기반으로 한 휴리스틱 해결책 기법을 제안하였다. [6] Wang and Kim (2009) 야드 지역에서 야드 크레인의 작업부하를 고려한 안벽크레인의 일정 알고리즘에 대해서 토론하였다. 부하되는 장치장으로 인해 안벽크레인 운영은 안벽크레인의 스케줄링을 위해 시물레이션으로 고려되어야만 한다. 이 논문은 메타 휴리스틱 알고리즘을 사용하였고 수리적 모델을 통하여 알고리즘의 수행도 테스트를 실행하였다. [7] Pap et al. (2011)은 컨테이너 재적하 계획에 대해 연구하였다. 이 논문은 안벽크레인의 운영을 개선하고 최적화 시키는 문제를 나타내었다. 이 문제를 해결하기 위해, 방법론으로는 혼합정수계획법을 사용하였다. [8] Yang (2012)은 안벽크레인 스케줄링 문제의 해결법에서 안벽크레인의 운영시간이 포함될만한 가치가 있는지를 제안하기 위해 안벽크레인의 운영시간을 포함 또는 제외시킬 수 있는 모델을 개발하였다. 이 문제는 휴리스틱과 NP-hard 기법을 사용함으로써 해결되었다. [9] Xing et al. (2012)은 AGV와 신기술의 안벽크레인 사이의 스케줄링 문제에 대해서 연구하였다. 이 연구의 목적은 안벽크레인의 전체적인 운영시간을 최소화하는 것이고 이 문제는 MILP 모델로써 해결되었다. 이 기법을 통하여 짧은 시간 내에 좋은 해결책을 발견하고 일반적으로 더 나은 목표 값을 산출하였다. 또한, 실용적인 운영을 위해 휴리스틱 디스패칭 규칙뿐만 아니라 이웃해 탐색 기법의 개선에 대해서도 집중적으로 연구하였다. [10] 이 논문은 신기술 안벽크레인을 고려한다는 점에서 본 논문과 공통적이지만 새로운 이송차량의 등장과 대수를 변경시켜 봄으로서 발생하는 컨테이너의 생산성 평가가 목표인 점에서는 다르다고 할 수 있다. Zhao et al. (2014)은 컨테이너터미널에서 안벽크레인과 이송차량을 병

합하여 대기 네트워크 이론을 고려한 모델을 만들고 수리적 알고리즘을 사용함으로써 컨테이너터미널의 효율성을 증대시켰다. [15] 이 논문의 경우, 안벽크레인과 이송차량을 병합시켜 컨테이너터미널의 효율성을 증대시킨다는 점에서 본 논문과 공통점이 있지만 신기술 항만장비를 이용하고 시물레이션 및 통계적인 기법을 사용하는 방법론에서 다르다고 할 수 있다.

## II. 컨테이너터미널 프로세스의 분석

### 1. 컨테이너터미널의 현황

세계 컨테이너 물동량이 연간 10% 이상씩 계속 증가하고 이러한 현상은 앞으로도 계속될 것으로 보인다. 이에 따라 선사에서 선박의 용량을 증가시키고 있으며 향후 5년 이내에는 최대 2만 TEU급의 선박도 나올 것으로 예상되고 있다. 이처럼 초대형선의 선박이 계속하여 발주되면서 이 컨테이너양을 처리하기 위해 세계 컨테이너터미널에서는 신기술 안벽크레인이 많이 등장하고 있다. 우리나라 역시 많은 컨테이너양을 처리하기 위해 신기술 안벽크레인을 비롯한 다른 항만장비들을 도입하려고 노력하고 있지만 비용 때문에 선불리 구입을 할 수 없는 상황이다. 특히, 안벽크레인의 경우는 천문학적 비용이 들기 때문에 선불리 구입했다가 컨테이너터미널이나 주변 환경에 적합하지 않는 장비라면 장비도입은 실패하게 되고, 비용은 막대한 손해를 입게 될 것이다. 때문에 시물레이션 개발은 필수가 되었고 이에 따라 항만업계에서는 현재 컨테이너터미널을 대상으로 많은 시물레이션들이 개발되고 있다. 시물레이션 연구는 Arena, Automod, C++ 등으로 많이 이루어지고 있고, 연구진들이 자체 개발한 시물레이션 프로그램들을 개발하여 컨테이너터미널을 분석하는 경우도 많다. 대부분 이루어지고 있는 시물레이션은 컨테이너터미널의 스케줄링이나 야드 배치를 변경한 시물레이션 개발이 활발하게 이루어지고 있으며 신기술을 도입한 시물레이션 개발은 아직 많이 부족한 상태이다.

본 논문에서는 신기술 안벽장비인 턴덤 리프트 안벽크레인과 신기술 이송장비인 Alternative ship-to-yard vehicles를 컨테이너터미널에 적용하여 시물레이션을 실험하고자 한다.

Alternative Ship-to-yard vehicles의 종류에는 SSTs(Single-stack railers), DSTs(double-stack trailers), SDTs(Serial-dual trailers), PDTs(Parallel-dual trailers)가 있다.

본 논문은 현재 운영 중인 부산항 컨테이너터미널을 대상

으로 하였다. <그림 1>는 부산항 컨테이너터미널을 대상으로 모형화한 그림으로써 시뮬레이션으로 개발하고자 하는 컨테이너터미널의 구조와 이송차량의 이동경로를 나타낸 것이다.

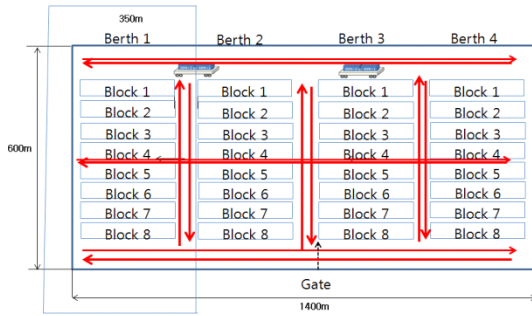


그림 1. 컨테이너터미널의 configuration  
Fig. 1. Configuration of Container terminal

<그림 1>과 같이 본 논문에서는 부산항 컨테이너 터미널의 면적을 600 X 1400(m)으로 하고 블록은 8열씩 4행으로 가정한다. 야드 크레인의 경우, 실제 야드 크레인 개수인 28대의 야드 크레인을 설치한다. 부산항 컨테이너터미널의 업무프로세스를 크게 두 가지로 나누면 수출 업무 프로세스와 수입 업무 프로세스로 나눌 수 있다. 하지만, 본 연구에서는 수입 업무 프로세스에 대해 더욱 중점적으로 다룰 것이다.

2. 컨테이너터미널의 프로세스

<그림 2>는 컨테이너의 전체적인 프로세스에 대해서 다루고 있다.

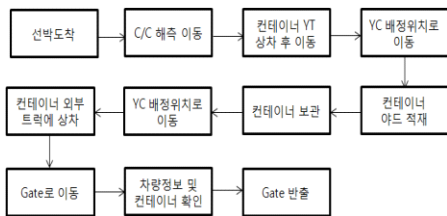


그림 2. 컨테이너터미널의 수입 프로세스  
Fig. 2. Import process of Container terminal

<그림 2>는 컨테이너터미널에서 컨테이너가 선박에서 하역되는 안벽구간에서 Gate를 통해 반출될 때까지의 수입프로세스를 나타낸 그림이다. 본 연구에서는 컨테이너터미널을 Quay Area, Travel Area, Yard Area로 구분하여 나타냄으로써 컨테이너터미널의 수입 프로세스에서 생겨나는 문제점과 고려사항들을 고려하여 본다.

3. Quay Crane 소개

싱글 안벽크레인은 하나의 호이스트와 스프레더를 가지고 있는 장비로서 20ft 컨테이너 1개 또는 40ft 컨테이너 1개를 취급할 수 있다. 싱글 안벽크레인은 항만에서 가장 많이 사용하는 하역 장비이다. 하지만 앞에서 언급한 바와 같이 세계 많은 컨테이너 터미널에서는 컨테이너의 생산성을 증가시키기 위한 장비로 탠덤 리프트 안벽크레인을 도입하고 있다. 탠덤 리프트 안벽크레인은 2개의 스프레더를 평행으로 가지고 있음으로 인해 20ft 컨테이너 4개 또는 40ft 컨테이너 2개를 다룰 수 있다.

4. Alternative ship-to-yard vehicles 소개

Alternative ship-to-yard vehicles는 기존의 이송차량보다 더 많은 컨테이너를 취급하기 위해 개발된 장비이다. Alternative Ship-to-yard vehicles의 종류에는 SSTs (Single-stack trailers), DSTs (double-stack trailers), SDTs (Serial-dual trailers) 가 있다. SST는 20ft 컨테이너 2개를 앞뒤로, 또는 40ft 컨테이너 1개를 취급할 수 있는 장비이다. DST는 20ft 컨테이너 2개 또는 40ft 컨테이너 1개를 아래위로 층을 쌓아서 취급하는 장비이다. SDT는 20ft 컨테이너 2개 또는 40ft 컨테이너 1개를 기차처럼 앞뒤로 연결하여 취급하는 장비이다. 컨테이너를 취급하는 시간은 SST가 가장 빠르지만 취급용량이 작기 때문에 DST와 SDT보다 생산성이 훨씬 떨어진다. SDT는 구조상 차량을 보정시키는 시간이 필요하기 때문에 DST보다 취급 시간이 더 많이 소요된다.

III. 시뮬레이션 시나리오 및 모델링

1 컨테이너터미널 프로세스의 개요

본 연구에서 나타낸 컨테이너터미널 시뮬레이션 모듈은 실제 컨테이너터미널을 바탕으로 크게 컨테이너 반입 및 하역 모듈, 이송장비 이동 모듈, 장치장 적재 및 하역 모듈로 이루어진다. 컨테이너 반입 및 하역 모듈에서 하역된 컨테이너는 이송장비 이동 모듈을 통해 야드 구간의 장치장 위치까지 이동되게 되며 장치장 위치까지 이동된 컨테이너는 장치장 적재 및 하역 모듈을 통해 장치장 블록에 적재된다. 컨테이너터미널의 시뮬레이션 모듈은 <그림 3>을 통해 볼 수 있다. <그림 3>은 컨테이너터미널의 전체적인 시뮬레이션 모듈을 나타낸

그림이다. <그림 3>과 같이 컨테이너터미널의 시물레이션 모듈은 컨테이너 반입 및 하역 모듈, 이송장비 이동 모듈, 장치장 적재 및 하역 모듈, 장치장 적재 및 하역 모듈로 나뉘지며, 세 가지 모듈 사이에서 연계작업이 이루어진다. 본 시물레이션 모듈의 경우, 컨테이너의 수입 업무 프로세스만 가정했기에 왼쪽에서 오른쪽으로 작업이 이루어지고 있지만, 실제 컨테이너터미널에서는 양방향으로 작업이 이루어진다.

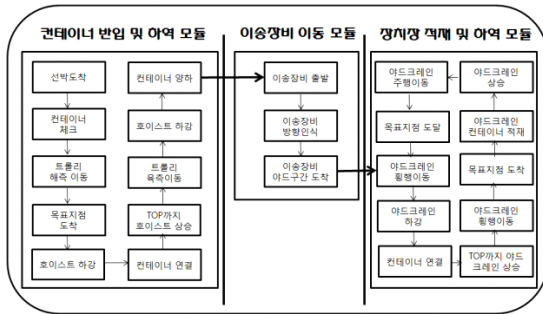


그림 3. 시물레이션 모듈 구조  
Fig. 3. Structure of Simulation module

2 실험목적

본 연구의 실험목적은 요구되는 고 생산성 항만장비를 고려하여 컨테이너를 처리하는데 필요한 탠덤 리프트 안벽크레인의 탠덤 비율과 DSTs, SDTs 그리고 SSTs의 최적의 차량 유형 및 개수를 결정하는 것이다. <표 1>를 보면 컨테이너터미널을 시물레이션하기 위해 고려해야 할 요인들을 알 수 있다. 즉, 실험의 결과를 나타내는 종속변수는 독립변수인 탠덤 안벽크레인의 비율, 이송차량의 종류인 SST/DST/SDT, 이송차량의 대수 등을 각각 적용하였을 때 발생하는 컨테이너의 생산성을 측정하고 각 실험방법 별로 나온 생산성들을 평가하고 비교하는 것이다.

3 시물레이션 설계 시 고려사항

최근 시물레이션 설계 시 고려해야 할 사항은 안벽크레인, 이송장비, 야드 크레인의 대기시간이다. 작업을 하는 과정 중 대기시간은 불가피한 것이므로 꼭 고려해야만 한다. 그리고 위해서 언급한 바와 같이 선박의 용량, 안벽크레인의 개수, 야드 크레인의 개수 및 배치 형태들은 실제 컨테이너터미널의 데이터를 고려한다. 선박의 경우, 계속하여 초대형선의 선박이 발주되고 있지만, 본 논문에서는 최근에 가장 많이 이용되고 있는 10,100TEU 선박을 사용함으로써 연간 약 240만 TEU의 물동량을 운반하도록 설정하였다. 이송차량의 경우

가장 많이 쓰이고 있는 방식인 SSTs와 신기술 이송차량인 DSTs, SDTs를 사용한다.

표 1. 컨테이너터미널의 고려요인  
Table 1. Considering factors of container terminal

독립변수	공정/시스템	종속변수	환경변수
탠덤안벽크레인의 비율	터미널 작업공정	컨테이너의 생산성	안벽크레인, 이송장비, 야드크레인의 대기시간
SST/DST /SDT			
차량의 대수			

4 시나리오 설계

<표 2>는 기존의 시물레이션에서 새로운 장비들로 변형시킬 실험조건이다. 야드 크레인의 대수를 28대로 고정시킨 상태에서 안벽크레인의 종류, Alternative Ship-to-yard 차량의 종류, 차량의 대수 등을 변경함으로써 컨테이너터미널에서 최고의 컨테이너 생산성을 나타낼 수 있는 최적의 조건을 도출해보고자 한다.

표 2. 컨테이너터미널의 실험조건  
Table 2. Experimental conditions of container terminal

선박의 용량 (in TEUs)	안벽크레인	Ship-to-yard vehicle	
	유형	유형	차량의 총 대수
10,100 TEU	탠덤 비율 10%~50%	SST,DST, SDT	64, 80, 96, 112, 128, 144대

차량의 대수는 실제 부산항 컨테이너터미널에서 많이 쓰이는 안벽크레인 당 6대를 기준으로 4~9대로 각각 변경시켜 보았다. 시물레이션에서는 선석이 4개이고 한 선석 당 4개의 안벽크레인이 있기 때문에 차량의 대수에 16을 곱한 64대에서 144대까지의 차량대수를 입력하였다. 시물레이션의 warm up time은 7일이고 시물레이션이 끝나는 시간은 30일 일 때다. 야드 크레인의 수를 고정시킨 상태에서 탠덤 리프트 안벽크레인의 탠덤비율, Alternative Ship-to-yard vehicle의 종류, 차량의 대수를 변경하여 실험방법을 만든 결과, 5 X 3 X 6 총 90개의 시나리오를 생성할 수 있었고 이 90개의 실험방법을 총 400번 반복실험 하였다.

5 시물레이션 설계

컨테이너터미널에 신기술 안벽크레인인 탠덤 리프트 안벽크레인과 신기술 이송장비인 Alternative Ship-to-yard

vehicles를 도입하고 생산성을 알아보기 위해 Plant Simulation을 사용하여 시물레이션을 설계하였다. 시물레이션을 개발할 때 필요한 데이터들은 실제 컨테이너터미널에서 나타내는 데이터를 참고하였다. 본 논문에서 개발된 컨테이너터미널 시물레이션을 활용하기 위하여 필요한 입력데이터로는 탠덤 리프트 안벽크레인의 탠덤비율, 이송차량의 유형, 이송차량의 대수가 있다. 시물레이션을 개발한 시스템 환경은 <표 3>과 같다.

표 3. 시물레이션 환경  
Table 3. Experimental conditions of container terminal

시스템 환경	- Automod - Window 7 - AMD Athlon(tm) II X4 640 Processor 3.00 GHz
시물레이션 실행 환경	- Warm-up time: 7일 - 시물레이션 관측시간: 30일

표 4. 기존 장비를 고려한 시물레이션 입력 데이터  
Table 4. Input data of simulation considering the existing equipment

항 목	시물레이션 모델
야드크레인 작업시간	90(초/개)
안벽크레인 작업시간	평균 130초
YT의 속도	20km/h
야드크레인의 대수	16대
안벽크레인의 대수	4대
YT의 대수	64대~144대
야드에서 YT의 대기시간	평균 72.5초
YT의 이동거리	평균 270m

시물레이션 설계에 사용된 입력데이터는 <표 4>와 같다. 고정된 데이터일 경우 실제 데이터를 입력하였고, 고정되어 있지 않고 항상 변하는 값은 평균값을 입력하였다.

#### IV. 시물레이션 실행 및 결과

##### 1 시물레이션 결과

총 90개의 실험방법으로 시물레이션을 실험해 본 결과 <그림 4>와 같은 결과를 나타낼 수 있었다. 시물레이션을 해 본 결과, 컨테이너 생산성이 가장 높은 실험방법은 탠덤 비율이 40%이고 이송차량은 DST가 128대 일 때 컨테이너 생산성이 가장 높았다. 반면, 컨테이너 생산성이 가장 낮은 실험방법은 탠덤 비율이 10%이고 이송차량이 SST가 64대 일 때 컨테이너 생산성이 가장 낮은 것으로 나타났다. 이송차량의

종류 별로 가장 높은 생산성을 보면 SST의 경우, 탠덤 비율이 10%이고 차량대수가 144대 일 때, DST의 경우, 탠덤 비율이 40%이고 차량대수가 128대 일 때, SDT의 경우, 탠덤 비율이 20%이고 차량대수가 144대 일 때 가장 생산성이 높았다. 그리고 SST와 SDT의 경우, 차량대수가 높을수록 생산성이 높았지만 DST의 경우, 차량대수가 높다고 생산성이 높은 것은 아니었다. DST와 SDT가 가장 최상의 조건일 때의 생산성은 각각 93대와 91대로써 비슷했지만 SST가 가장 최상의 조건일 때 생산성은 55대로 DST, SDT의 생산성보다 약 1.6배 더 낮은 것을 알 수 있다. 이를 살펴보면 탠덤 리프트 안벽크레인의 탠덤 비율과 Alternative Ship-to-yard vehicles의 대수가 적절히 조화를 이루어야 한다는 것을 알 수 있다.

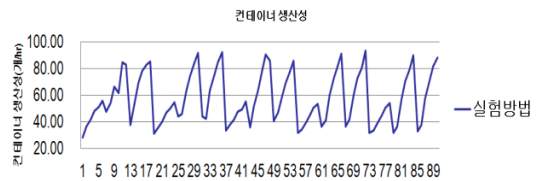


그림 4. 시나리오에 따른 컨테이너 생산성  
Fig. 4. The Productivity of Container according to the Scenarios

##### 2 시물레이션 결과 분석

첫째, 다른 요소들은 그대로 두고 이송차량의 종류에 따라 컨테이너 생산성을 비교하여 보았다. DST와 SDT는 취급 용량이 같기 때문에 생산성이 비슷했지만 SDT는 차량의 구조상 회전할 때 차량의 속도가 DST보다 더 늦어질 수 있다. 그리고 컨테이너를 적재할 때에는 스프레더와 차량의 보정이 필요하기 때문에 별다른 보정이 필요 없어 대기시간이 짧고 이송 시에 정체되는 시간이 없는 DST가 생산성이 더 높았다.

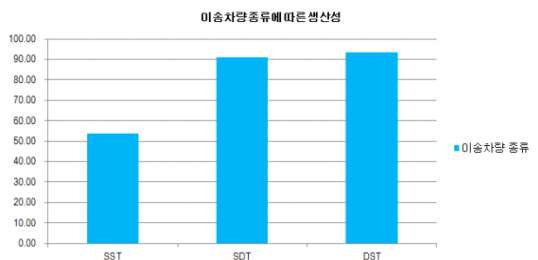


그림 5. 이송차량 종류에 따른 컨테이너 생산성  
Fig. 5. The Productivity of Container according to Transport vehicle types

둘째, 탠덤 비율에 따른 생산성을 알아보기 위하여 탠덤 비율 별로 가장 좋은 생산성을 뽑아 탠덤비율에 따른 생산성을 비교하였다. 그 결과, <그림 6>와 같은 결과를 도출하였다. 생산성이 가장 높은 탠덤 비율은 40% 이었고, 반면에 가장 낮은 탠덤 비율은 10% 일 때다.

셋째, 이송차량의 대수에 따른 생산성을 알아보기 위하여 차량 종류마다 생산성이 가장 높은 실험방법들을 뽑아 차량 대수에 따라 생산성을 비교해보았다. 그 결과, <그림 7>과 같은 결과를 도출하였다.

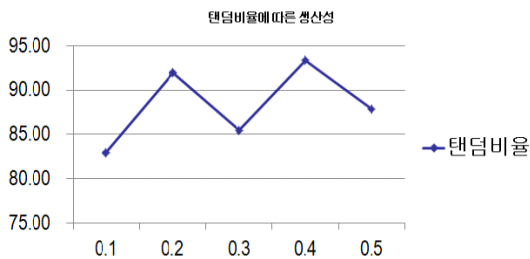


그림 6. 탠덤비율에 따른 컨테이너 생산성  
Fig. 6. The Productivity of Container according to Tandem ratio

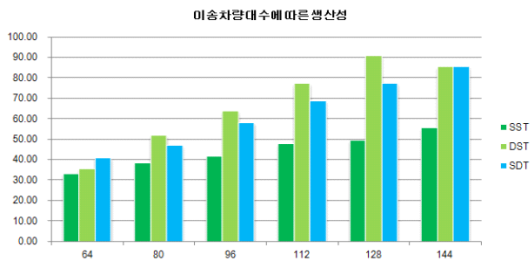


그림 7. 이송차량 대수에 따른 컨테이너 생산성  
Fig. 7. The Productivity of Container according to Transport vehicle number

차량 대수의 경우, 차량 종류에 따라 결과가 다르게 나왔는데 SST와 SDT는 차량 대수가 증가할수록 생산성도 높게 나왔지만 DST의 경우, 차량 대수가 많다고 생산성이 증가하는 것이 아니라 오히려 128대 일 때의 생산성이 144대 일 때의 생산성보다 높게 나왔다. 이런 결과가 나온 이유를 가장 큰 원인으로 대기시간으로 판단하고 대기시간과 생산성의 상관관계를 나타내었다. 그 결과, <그림 8>과 같은 결과를 나타낼 수 있었다.

대기시간과 생산성의 상관관계를 알아보고 상관계수를 파악해 본 결과, 상관계수 R은 -0.265로써 0에 가깝기 때문에

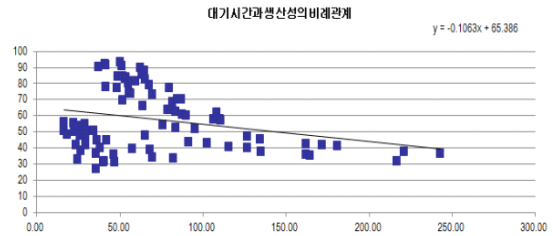


그림 8. 대기시간과 생산성의 상관관계  
Fig. 8. Correlation between the waiting time and productivity

서로 미세한 영향은 미칠 수 있는 크게 영향은 미치지 않는 것으로 나타났다.

### V. 컨테이너터미널에서의 생산성 추정

컨테이너 생산성에 어떤 변수가 가장 크게 영향을 미치는지와 시뮬레이션이 올바르게 실행되었는지 검증하기 위해 회귀분석을 실행하였다. 또한, 시뮬레이션을 수행함으로써 도출된 컨테이너의 생산성을 종속변수로 보고 탠덤 리프트 안벽크레인의 탠덤비율과 이송차량의 유형에 따른 대수를 독립변수로 보았을 때 컨테이너 터미널의 컨테이너 생산성은 다음 (1)과 같은 추정모델을 만들 수 있다. 이것은 독립변수인 탠덤비율과 이송차량의 유형, 대수가 종속변수인 컨테이너 생산성에 대해서 어떠한 영향을 미치고 어떠한 관계가 있는지를 알 수 있다.

$$y = \alpha + \beta Q + \gamma T \tag{1}$$

$y$  = 컨테이너 터미널의 생산성

$Q$  = 탠덤 리프트 안벽크레인의 비율

$T$  = 이송차량 타입 별 대수

본 연구에서는 독립변수가 2개이고 종속변수가 1개인 추정모델을 만들어보았다. 독립변수 X1은 탠덤 리프트 안벽크레인의 비율이고, X2는 이송차량의 유형과 대수이다. 마지막으로 종속변수 Y는 컨테이너 터미널의 컨테이너 생산성이다. 회귀분석은 통계분석 프로그램인 MINITAB 15를 사용하였다. 시뮬레이션을 통한 400번의 반복실험에서 생성된 400개 데이터 중 200개의 데이터를 가지고 회귀분석을 수행한 결과, <그림 9>, <그림 10>, <그림 11>와 같은 결과가 출력되었다. 회귀분석 결과들을 살펴보면 추정된 회귀 식은 이송차량

이 SST일 때는  $Y = 12.6 - 3.19 X_1 + 0.302 X_2$ , DST 일 때는  $Y = 1.86 - 8.74 X_1 + 0.638 X_2$ , SDT일 때는  $Y = -0.11 - 16.7 X_1 + 0.668 X_2$ 이다.

회귀분석의 결과, <그림 9>, <그림 10>, <그림 11>를 보면 회귀변동의 P값이 모두 0.05보다 작으므로 회귀식이 유의하다고 할 수 있다. 이송차량의 유형과 대수를 보면 SST, DST, SDT 모두 P값이 0.05보다 작기 때문에 컨테이너 생산성에 영향을 미친다고 할 수 있고, 탠덤 비율은 SDT를 제외하고는 비교적 P값이 0.05보다 크기 때문에 생산성에 영향을 크게 미친다고 볼 수는 없다. 따라서 컨테이너 생산성에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 이송차량의 유형 및 대수라고 할 수 있다. 회귀 식의 적합도를 나타내는 R-sq(adj) 값은 모든 경우에서 90%를 넘음으로써 신뢰성이 있는 회귀식이라고 할 수 있다.

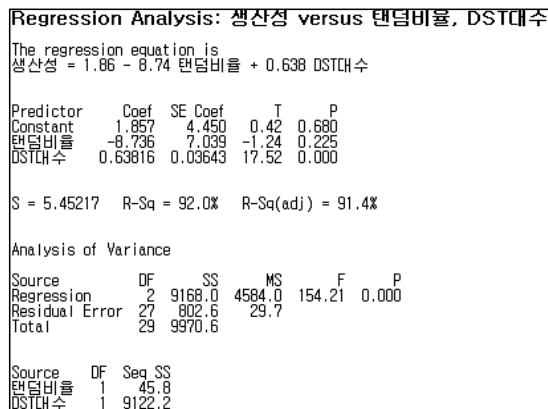


그림 9. 이송차량이 SST 일 때의 회귀분석 결과  
Fig. 9. Regression analysis of SST

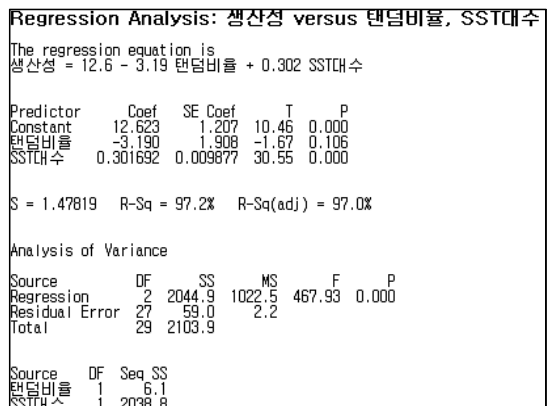


그림 10. 이송차량이 DST 일 때의 회귀분석 결과  
Fig. 10. Regression analysis of DST

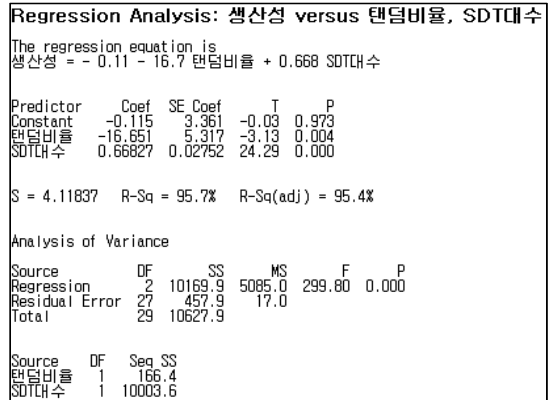


그림 11. 이송차량이 SDT 일 때의 회귀분석 결과  
Fig. 11. Regression analysis of SDT

위의 회귀 식들이 맞게 추정 되었는지를 검증하기 위해 시물레이션에서 나온 데이터 중 회귀분석에 사용된 데이터 외에 나머지 200개 데이터의 평균을 회귀 식에서 나온 회귀 값과 비교해보았다. 임의로 생산성이 가장 높게 나온 DST 이송차량을 144대, 탠덤 비율이 40%일 때를 대입하여 값을 구해본 결과, <표 5>와 같은 결과가 나왔다.

표 5. 회귀식과 데이터 평균값을 비교한 모델 검증  
Table 5. The model validation comparing with regression value and average value of data

결과 항목	회귀 값	데이터의 평균값
DST일 때 생산성	90.2(개/시간)	93.6(개/시간)

<표 5>는 기존의 시물레이션 실험에서 얻어낸 400개의 데이터 중 200개의 데이터를 사용하여 추정한 회귀 식과 나머지 200개의 평균 데이터 값을 비교한 것이다. 여기서 회귀 값과 데이터의 평균값이 약 3.4대 정도의 오차가 있지만 상당히 비슷하게 나온 것을 볼 수 있고 두 가지 경우의 값을 비교해 봄으로서 시물레이션 실험과 회귀 식이 검증되었다고 할 수 있다.

## VI. 결론

무역 산업에서 선사와 화주는 빠른 시일 내에 많은 화물을 운반하는 것을 목표로 한다. 이에 따라 최근 선사 및 선박회사에서는 대용량의 선박들을 수주하고 취급하고 있다. 이런 대용량 선박들이 개발되면서 선박에 실을 수 있는 물동량 역시 증가하고 있다. 전 세계 컨테이너 터미널에서는 증가하는



물동량을 처리하기 위해 탠덤 리프트 안벽크레인이라는 신기술 하역장비를 도입하고 있으며 탠덤 리프트 안벽크레인으로 인해 증가하는 하역 컨테이너들을 야적장으로 취급 및 운반하는 Alternative ship-to-yard vehicles 이라는 신기술 이송장비도 도입하고 있다. 본 논문에서는 세계 무역 흐름에 맞는 컨테이너터미널 개발을 위해 컨테이너터미널의 프로세스에 맞춰 탠덤 리프트 안벽크레인이라는 신기술 하역장비와 Alternative ship-to-yard vehicles 이라는 신기술 고생산성 이송장비를 고려한 시뮬레이션을 활용함으로써 최고의 생산성을 나타내는 항만 장비들의 최적 조합을 찾고 회귀분석을 통하여 컨테이너 생산성의 추정모델을 도출할 수 있었다.

본 논문은 탠덤 리프트 안벽크레인과 Alternative ship-to-yard vehicles 을 도입함으로써 현재의 컨테이너터미널들과 비교해 동일시간 동안 더 많은 컨테이너를 취급하거나 동일한 컨테이너 개수를 취급할 때는 더 많은 컨테이너들을 취급함으로써 컨테이너의 하역시간을 감소시키고 선박의 체류시간을 줄일 수 있게 된다. 이로 인해 선사는 선박의 유류비 및 운반비를 감소시킬 수 있고 더 많은 화물의 양을 운반하면서 화주 역시 더 많은 수익성을 낼 수 있다. 또한, 더 많은 선박들이 컨테이너 터미널에 입항함으로써 컨테이너터미널의 수익성을 증가시킬 수 있다.

이러한 현상은 최근 타결된 한, 중 FTA로 인해 급격히 증가하는 물동량들을 취급함으로써 긍정적인 효과를 낼 수 있을 것으로 판단되며, 컨테이너터미널의 효율적인 운영을 통해 무역 및 항만 산업의 경쟁력은 한 단계 더 성장할 것이다.

## 참고문헌

- [1] S. H. Choi, and S. H. Won, and C. Lee, "Comparison of Alternative ship-to-yard vehicles with the consideration of the batch process of quay cranes," Proceedings of International Conference of Logistics and Maritime Systems, Vol. 20, No 1-2, pp. 84-98, Jan. 2013.
- [2] J. Zhao, and L. Tang, "The simultaneous quay crane and truck scheduling problem in container terminals," Intelligent Computation Technology and Automation, Vol. 1, pp. 279-282, March 2011.
- [3] C. F. Daganzo, "The Crane Scheduling Problem," Transportation Research Part B, Vol. 23, Issue 3, pp. 159-175, June 1989.
- [4] M. Avriel, and M. Penn, and N. Shpirer, and S. Witteboon, "Stowage Planning for Container Ships to Reduce the Number of Shifts," Annals of Operations Research, Vol. 76, Issue 0, pp. 55-71, Jan. 1998.
- [5] K. H. Kim, and Y. M. Park, "A Crane Scheduling Method for Port Container Terminals," European Journal of Operational Research, Vol. 156, Issue 3, pp. 752-768, Aug. 2004.
- [6] F. Meisel, "The quay crane scheduling problem with time windows," Naval Research Logistics, Vol. 58, Issue 7, pp. 619-636, Oct. 2011.
- [7] Y. Wang, and K. H. Kim, "A Quay Crane Scheduling Algorithm Considering the Workload of Yard Cranes in a Container Yard," Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 22, Issue 3, pp. 459-470, June 2011.
- [8] E. Pap, and V. Bojanic, and G. Bojanic, and M. Georgijevic, "Optimization of Container Quay Cranes Operations," Intelligent Systems and Informatics, pp.137-140, 2011.
- [9] K. H. Yang, "The Influence of the Quay Crane Traveling Time for the Quay Crane Scheduling Problem," Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists, Vol. 2, pp. 1298-1301, March 2012.
- [10] Y. Xing, and K. Yin, and L. Quadrioglio, and B. Wang, "Dispatch Problem of Automated Guided Vehicles for Serving Tandem Lift Quay Crane," Transportation Research Record, Vol. 2273, pp. 79-86, Oct. 2012.
- [11] S. H. Won, and K. H. Kim, "Yard Planning Considering the Load Profile of Resources in Container Terminals," Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 35, No. 1, pp. 58-72, March 2009.
- [12] C. H. Lee, and K. Y. Jang, and J. G. Kim and W. S. Yoo, "A Simulation Study for RFID application to the Port Container Terminal," Journal of the Society of Korea Industrial and

- Systems Engineering, Vol. 30, No. 4, pp. 30-38, Dec. 2007.
- [13] Y. S. Choi, and W. S. Kim, and T. Y. Ha, "An Estimate of the Required Number of Yard Tractor in Container Terminal," Journal of the Korean Navigation and Port Research, Vol. 28, No. 6, pp. 549-555, June 2004.
- [14] S. M. Jeon, and K. H. Kim, "A Study on Estimation of the Productivity in Container Terminal," Journal of Intelligence and Information Systems, Vol. 14, No. 3, pp. 77-86, Sep. 2008.
- [15] Q. Zhao, and J. Cao, and Z. Gao, "Integration and optimization of quay cranes and trucks at container terminal," Applied Mechanics and Materials, Vol. 505-506, pp. 922-926, Jan. 2014.
- [16] S. G. Choi, and C. U. Lee, "A Study for improving passenger service level at the airport security checks by using simulation," Journal of the Korea society of computer and information, Vol. 18, No. 3, pp. 59-68, 2013.
- [17] Y. H. Lee, and C. U. Lee, "Decision of optimal incentives and total order quantity with consideration of return rate of remanufacturing product," Journal of the Korea society of computer and information, Vol. 16, No. 8, 2011.

## 저 자 소개



김 동 원

2011: 창원대학교

산업시스템공학과 공학사.

현 재: 고려대학교 산업경영공학과

석사과정

관심분야: 해운/항만물류

Email : kdwtl@korea.ac.kr