

시뮬레이션 기법을 이용한 컨테이너 터미널의 자원할당 전략에 관한 연구*

A Study on the Resource Allocation Strategies of the Container Terminals Using Simulation Technique

장성용*

Seong Yong Jang

Abstract

This paper presents an estimation method of container handling capacity and selection of resource allocation strategies of container terminals using the computer simulation models. Simulation models are developed to model container terminal consisting of 4 berths considering the berth allocation strategies, crane allocation strategies and the total number of container cranes using Arena simulation package.

The proposed models do not consider the yard operations and gate operations. All the input parameters for the models are estimated on the basis of the existing container terminal operation data and the planning data for the automated container terminal planned by Korean government. Four berth allocation strategies and three crane allocation strategies are considered. The total number of container cranes considered ranges from 12 to 15.

Non-terminating simulation techniques are utilized for the performance comparison among alternatives. The performance measures such as average ship turnaround time, average ship waiting time, average ship service time, the number of containers handled per year, and the number of ships processed per year are used.

The result shows that the berth allocation strategy minimizing the sum of the number of ships waiting, the number of busy container cranes and number of ships handled performs better than any other berth allocation strategies. In addition, the crane allocation strategy allocating up to 5 container cranes per berth performs better than any other crane allocation strategies. Finally there are no significant performance differences among the alternatives consisting of different total number of container cranes allocated.

* 이 논문은 서울산업대학교 교내 학술연구비에 의하여 연구되었음

** 서울산업대학교 산업공학과 부교수

1. 서론

컨테이너 수송 분야에서 두드러진 변화는 크게 선박의 대형화로 인한 규모의 경제의 실현 노력과 항만에서 체류하는 시간의 단축으로 인한 비용절감 노력의 두 방향에서 추진되고 있다. 컨테이너터미널에서 발생하는 비용이 컨테이너 총 수송원가의 30%를 점유하고 있기 때문에 각국의 주요항만들은 터미널 운영방식을 개선하는 등 운영효율화 노력에 박차를 가하고 있다.

이러한 컨테이너터미널의 설계안을 제안하고 제안된 설계안을 평가하기 위한 시뮬레이터의 개발은 대단히 중요하다. 이 시뮬레이터는 설계단계 뿐 아니라 실제 운영단계에서 최상의 성능을 발휘할 수 있도록 터미널의 각 장비 구성 뿐 아니라 각 단계에서의 다양한 운영조건에 따른 터미널운영시스템에 대한 성능 평가가 필수적이라 판단된다.

컨테이너 터미널 시스템의 활용을 위한 많은 시뮬레이션 연구가 있었으며, 지금까지 대부분의 시뮬레이션 연구에서는 Fortran, C, SIMAN, SLAM, GASP 등의 범용언어를 사용하여 컨테이너 터미널의 성능분석을 주목적으로 하였으며, 모델링의 상세한 정보와 분석 내용에는 차이가 있으나, 대기행렬 모형에서 보다 더 상세한 설계요소들을 다루고 있다는 공통점을 가지고 있다[3, 4, 5, 6, 7, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21]. 이러한 시뮬레이션을 이용한 접근방법에 대해서 국내외의 연구를 살펴보면 다음과 같다.

국내의 컨테이너 터미널에 관련된 시뮬레이션 연구는 여러 가지 목적을 가지고 다양한 시뮬레이션 언어로 수행되어 왔다. 조덕운[7]은 GASP-4 시뮬레이션 언어를 사용하여 터미널의 시스템 분석을 위한 시뮬레이션 모형을 개발하여 그 유용성을 보이고 나아가서 터미널 운영 변수의 실험을 위한 도구를 제공하고 있다. 장성용, 박진우[4]는 실제의 컨테이너 터미널을 대상으로 터미널 운영시스템 및 시설배치 결정을 위한 방법으로 제안된 몇 가지 대안에 대하여 SIMAN 언어를 활용하여 시뮬레이션 모델을 개발하여,

단일 선석을 가정한 컨테이너 운영장비의 최적 조합을 찾기 위한 연구를 수행하였다. 그리고 선석과 크레인의 최적 구성 문제를 다룬 운영철과 문성혁[2]의 연구, 시뮬레이션을 이용한 항만의 하역능력 추정문제를 다룬 김창곤[1]과 장성용[5]의 논문 등이 있다. 그러므로 국내의 연구에서는 대상 시스템의 성능분석을 위한 시뮬레이션 모델 개발에 주요 목적을 두고 있다.

국외의 시뮬레이션 연구에서는 시뮬레이션 모델의 개발뿐만 아니라 시뮬레이터의 개발에도 많은 연구가 이루어지고 있다. 가장 대중적인 시뮬레이션 모델은 UNCTAD port model, PORTSIM, MIT port simulator를 들 수 있다. 1969년 개발된 UNCTAD port model은 가장 초기의 항만 시뮬레이션 모델로서 화물이 컨테이너화되기 이전의 재래식 화물을 취급하는 항만의 운영을 분석하고자 사용되었으며, 1970년대 World Bank에서 개발된 가장 오래된 항만 시뮬레이터인 PORTSIM은 프로젝트 평가용으로 개발되어 항만 배치의 변화에 대한 비용과 수익을 분석하는 도구로 유용하였으나 Fortran으로 작성되어 메인프레임에서 사용되어 왔다[11]. 1980년대 초에 개발된 MIT port simulator는 초기의 모델들을 개선하여 양하화물 (break-bulk cargo), 산적화물 (bulk cargo), 냉동화물 (refrigerated cargo), 컨테이너(container) 등을 포함한 다목적 항만을 분석하는데 사용하였다. Kozan[16]은 오스트레일리아의 레일유형의 컨테이너 터미널인 Acacia Ridge 터미널의 운영을 분석하기 위하여 휴리스틱 기법에 시뮬레이션을 결합한 연구를 하였고, Ramani[19]의 연구에서는 인도의 인디안 항만을 대상으로 C언어로 개발된 시뮬레이션 모델을 사용하여 운영 대안을 평가하였으며, 이 연구에서 고려한 장비는 국내의 TC (transfer crane) 방식과 유사하며, next event scheduling 접근법을 이용하였다. 그리고 Park과 Noh[18]는 미국 알라바마의 모빌항(Port of Mobile)을 Monte Carlo type으로 모델링을 하여 SLAM을 이용하여 분석하였으며, Hayuth 외 2인[14]의 연구에서는 항만 시뮬레이터의 개발을 위한 하드웨어

어와 소프트웨어 도구에 대한 조사와 이스라엘의 항구를 대상으로 한 C언어로 프로그램된 시뮬레이터를 소개하고 있다.

본 연구는 컨테이너터미널내의 각 구성요소를 포괄하는 표준적인 터미널 구성안을 평가하기 위한 시뮬레이터에서 전체적인 터미널의 생산성을 극대화하기 위한 다양한 선석할당 방식, 선측크레인 할당 방식 그리고 컨테이너 크레인 수에 따른 컨테이너 터미널의 성능을 평가하는 기법에 대하여 연구한다.

2. 컨테이너터미널 시뮬레이션 모델링

2.1 대상 컨테이너 터미널 개요

본 연구에서는 선석(berth) 4개로 이루어진 컨테이너 터미널을 연구 대상으로 하였다. 본 연구에서는 야드작업은 고려하지 않고 선박 하역작업만을 대상으로 하였다. 이 터미널에 관련된 선박의 도착분포나 컨테이너 처리시간 분포 등 입력 자료들은 과거 우리나라 컨테이너 터미널 실적치 및 자동화컨테이너터미널 구상을 위한 연구 보고서에서 제시한 자료를 사용하였다[8, 9].

본 연구에 사용된 주요 파라미터들은 다음과 같다.

- ① 선석수: 4개
- ② 선박규모: 5만톤급(자동화컨테이너터미널을 전제로 함)
- ③ 선박의 도착분포: Erlang(6.945/2, 2)
- ④ 연간작업시간: 8640시간
- ⑤ 선박당 컨테이너 처리개수: Uniform(1180 ± 118 TEU)
- ⑥ 컨테이너 Van 당 TEU: 1.6
- ⑦ 시간당 크레인당 처리개수=시간당크레인생산성(35) x 간섭계수(0.8) x 크레인작업계수(0.92) x 이동계수(0.86) ≃ 22
- ⑧ 시간당 컨테이너당 평균하역시간= 1/22 = 0.045시간
- ⑨ 컨테이너 개당 크레인 작업 시간: Uniform(0.045 ± 0.0045)시간

2.2 시뮬레이션 모형

본 연구에서는 컨테이너 터미널의 선석할당방식, 컨테이너크레인 할당 방식, 크레인 총대수에 따른 컨테이너 터미널의 생산성분석을 위해 선박 도착에서부터 하역작업 과정을 Arena라는 시뮬레이션 패키지를 이용하여 모델링하였다. <그림 1>은 Arena 라는 시뮬레이션 프로그램으로 모델링한 화면이다.

1) 선석할당방식

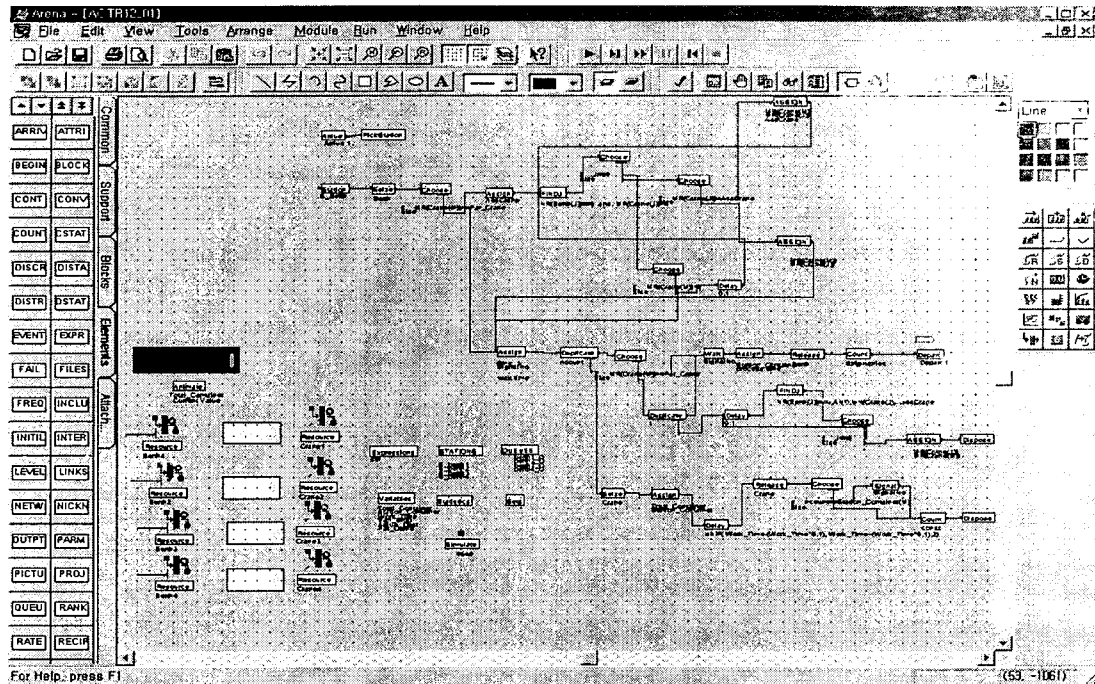
일반적으로 컨테이너 터미널은 선박을 선석에 할당하는 정책으로서 빈 선석에 대하여 무작위방식을 사용하고 있다. 본 연구에서는 무작위 할당방식을 포함하여 다음 4가지 선석할당방식을 고려하였다.

- ① BA1: 선석에 할당된 크레인수, 누적처리선박수 그리고 대기선박수의 합이 최소가 되는 선석에 선박을 할당
- ② BA2: 무작위로 선박을 선석에 할당
- ③ BA3: 누적처리 선박수가 최소인 선석에 선박을 할당
- ④ BA4: 대기 선박이 적은 선석에 선박을 할당

할당정책 BA1은 선석에 할당된 크레인수, 누적처리선박수 그리고 대기선박수의 합이 최소가 되는 선석에 우선적으로 선박을 할당하는 것으로 3가지 고려요소의 가중치를 고려하면 무수한 대안이 나올 수 있으나 각 요소의 가중치가 동일한 경우만을 고려하였다.

2) 크레인 할당 방식

우리 나라를 비롯한 대부분의 컨테이너 터미널은 선석별로 2~3대의 컨테이너 크레인이 고정적으로 배치되어 하역작업이 이루어지고 있다. 최근 싱가포르와 홍콩 일부 컨테이너 터미널에서는 최대 5대까지 컨테이너 크레인을 유동적으로 배치함으로써 하역생산성을 극대화하는 노력을 하고 있다. 선석당 배치 가능한 최대 컨테이너 크레인 대수는 선박의 길이와 크레인의 작업간섭



<그림 1> 시물레이션 구현 화면

등을 고려해 볼 때 5대인 것으로 알려져 있다. 유동적으로 크레인을 배치한다는 것은 크레인이 레일 위를 이동할 수 있도록 설계되어 있기 때문에 비작업중인 크레인을 인접 선석으로 이동하여 배치하는 것을 의미한다. 실제작업에서는 동일 선석이라 하더라도 작업 중에 일정범위 내에서 레일 위를 이동해 나가면서 하역작업이 이루어진다.

크레인 할당 방식은 다음 3가지가 고려되었다.

- ① CA1: 선석별로 크레인수를 일정하게(고정) 배치하는 방식 (예, 총 컨테이너크레인수가 14대인 경우 4, 4, 3, 3로 고정 배치)
- ② CA2: 선석별로 크레인 대수를 선박이 접안시 유동적으로 배치하는 것으로 최대 4대까지 배치하는 방안
- ③ CA3: 선석별로 크레인 대수를 선박이 접안시 유동적으로 배치하는 것으로 최대 5대까지 배치하는 방안

3) 총 크레인 대수

선석이 4개인 경우에는 이론적으로 크레인을 20대까지 배치가 가능하나, 컨테이너 터미널의 평균 선석점유율이 70~80%이며, 접안시간 중에도 비작업시간이 존재하기 때문에 배치 가능한 최대 크레인 수는 15대로 산정 하였다. 따라서 터미널 내 선석수가 4개이므로 선석당 평균 3기의 컨테이너 크레인 즉 총 12대가 배치된 경우를 최소로 하고, 최대 15대까지 산정하여 총 크레인 대수는 12, 13, 14, 15 대안 4가지 경우에 대하여 모델링 하였다.

3. 시물레이션 실행 및 성능 평가

3.1 기본모형에서의 성능 평가

기본적으로 시물레이션은 컨테이너 터미널의 실제 작업상황을 반영하여 비종료시스템(non-terminating system)임을 감안하여 1년간의 작

업에 대하여 시물레이션을 수행하였다.

1) 선석 배치 방식 비교 평가

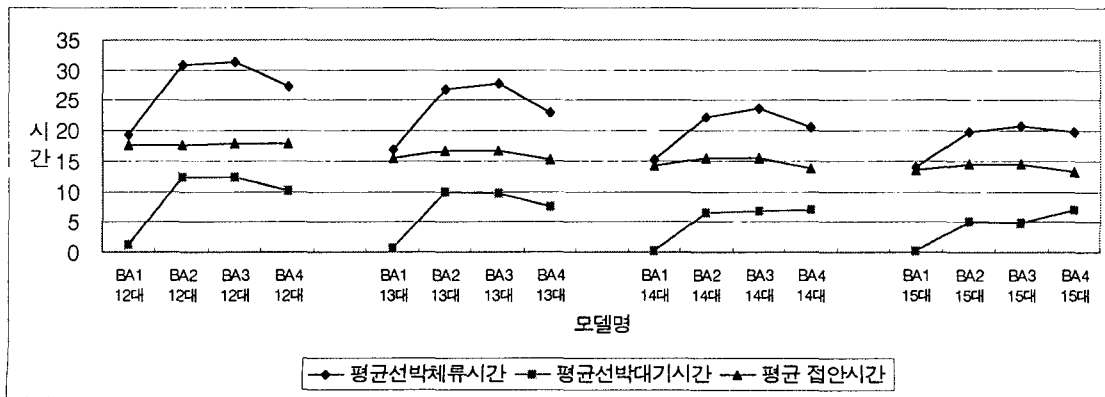
다음의 <표 1>과 <그림 2>는 크레인을 고정 배치한 상태에서 선박의 선석할당 대안들의 비교 표와 결과 값을 그래프로 나타낸 것이다. <표 2>와 <그림 3>은 크레인을 최대 4대 유동배치와 그리고 <표 3>과 <그림 4>는 최대 5대를 배치한 경우의 시스템 성능 평가치를 보여주고 있다.

선석에 할당된 크레인수, 누적처리선박수 그리

고 대기선박수의 합이 최소가 되는 선석에 선박을 할당하는 대안(BA1)이 총 크레인수가 12, 13, 14, 15대 어느 경우에도 그리고 어느 컨테이너 크레인 할당방식의 경우에도 선박체류시간, 선박대기 시간, 척당 접안시간 측면에서 가장 낮은 결과를 보이고 있다. 이는 대상 터미널에서 선박 도착율이 처리 능력에 비해 낮기 때문으로 판단된다. 따라서 컨테이너 터미널의 최대능력을 판단하기 위한 민감도 분석을 수행한다.

<표 1> 시물레이션 결과 (크레인 할당방식이 고정배치방식인 경우)

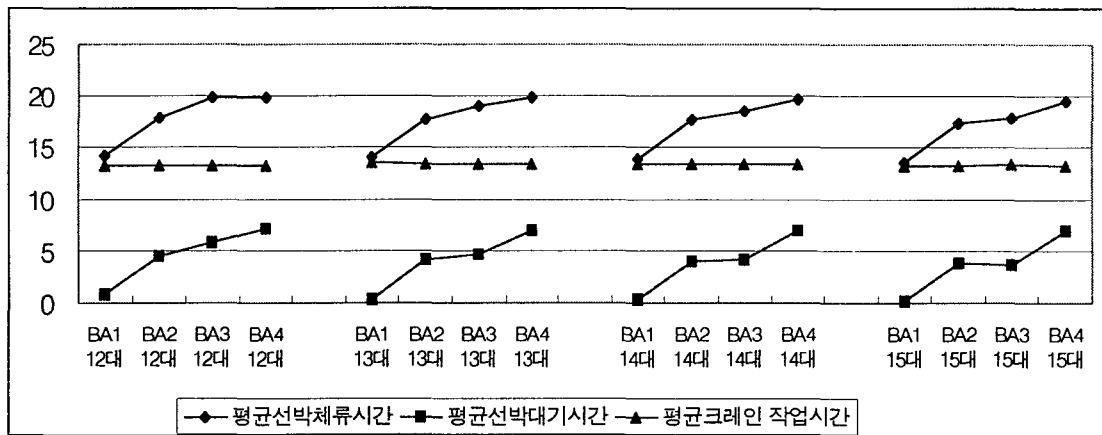
크레인 수	평균선박 체류시간	평균 선박 대기시간	평균 접안시간
BA1-12대	19.200	1.188	17.670
BA2-12대	30.893	12.398	17.720
BA3-12대	31.468	12.271	17.757
BA4-12대	27.291	10.161	17.758
BA1-13대	16.821	0.642	15.410
BA2-13대	26.897	9.804	16.646
BA3-13대	27.711	9.723	16.661
BA4-13대	22.865	7.506	15.164
BA1-14대	15.125	0.301	14.275
BA2-14대	22.304	6.522	15.387
BA3-14대	23.612	6.769	15.437
BA4-14대	20.403	7.105	13.649
BA1-15대	14.096	0.247	13.606
BA2-15대	19.762	5.048	14.392
BA3-15대	20.770	4.947	14.368
BA4-15대	19.789	7.096	13.329



<그림 2> 대안별 비교(고정배치)

<표 2> 시물레이션 결과 (크레인 할당방식이 유동배치- 4대인 경우)

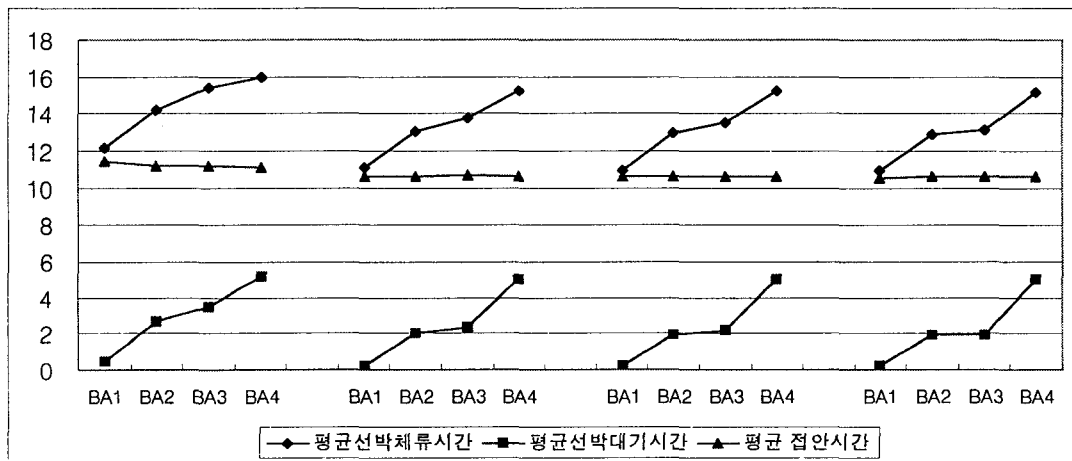
	평균선박 체류시간	평균선박대기시간	평균 접안시간
BA1-12대	14.304	0.811	13.226
BA2-12대	17.961	4.409	13.277
BA3-12대	19.896	5.833	13.295
BA4-12대	19.901	7.128	13.280
BA1-13대	14.075	0.283	13.598
BA2-13대	17.795	4.154	13.454
BA3-13대	19.031	4.717	13.483
BA4-13대	19.813	6.971	13.385
BA1-14대	13.885	0.260	13.450
BA2-14대	17.653	3.969	13.374
BA3-14대	18.597	4.206	13.427
BA4-14대	19.705	6.936	13.336
BA1-15대	13.609	0.210	13.245
BA2-15대	17.428	3.860	13.282
BA3-15대	17.945	3.713	13.356
BA4-15대	19.616	6.936	13.281



<그림 3> 대안별 비교(유동배치 최대 4대)

<표 3> 시뮬레이션 결과 (크레인 할당방식이 유동배치-5대인 경우)

	평균선박 체류시간	평균선박 대기시간	평균 크레인 작업시간
BA1-12대	12.158	0.469	11.420
BA2-12대	14.172	2.648	11.165
BA3-12대	15.399	3.517	11.193
BA4-12대	15.949	5.212	11.073
BA1-13대	11.087	0.256	10.657
BA2-13대	13.071	2.052	10.651
BA3-13대	13.817	2.377	10.743
BA4-13대	15.212	5.013	10.659
BA1-14대	10.975	0.223	10.604
BA2-14대	12.939	1.969	10.624
BA3-14대	13.509	2.206	10.661
BA4-14대	15.216	5.028	10.644
BA1-15대	10.951	0.222	10.581
BA2-15대	12.921	1.966	10.609
BA3-15대	13.163	1.922	10.615
BA4-15대	15.198	5.021	10.641



<그림 4> 대안별 비교(유동배치 최대 5대)

2) 컨테이너크레인 할당방식 비교 평가

다음 <표 4>와 <그림 5>은 크레인 할당방식에 따른 시뮬레이션 결과이다. 결과표에서 알 수 있듯이 대안간의 성능 향상을 볼 수 있다.

선박별 컨테이너 크레인 할당방식의 경우에는 총 크레인수에 상관없이 선석별로 고정배치하는 방식보다는 크레인을 유동적으로 배치하는 대안이, 유동적으로 배치하는 대안 중에서 최대 4대까지 배치하는 경우보다는 5대까지 배치하는 대안이

선박체류시간, 선박대기시간, 척당 접안시간 측면에서 현격하게 낮은 결과를 보이고 있다. 따라서 컨테이너 크레인을 선석에 고정적으로 배치하는 것보다는 허용된다면 많은 크레인을 유동적으로 배치함으로써 터미널의 생산성을 향상시킬 수 있다.

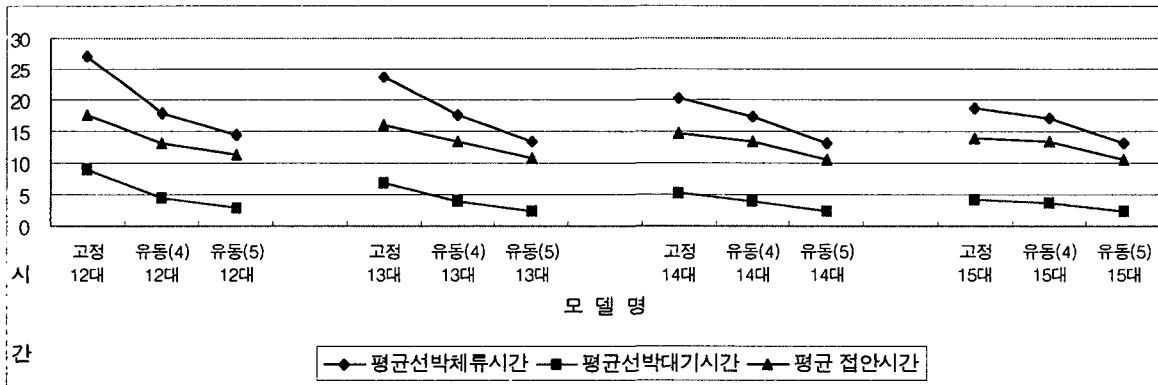
3) 총 컨테이너크레인 대수에 따른 비교 평가
 다음의 <표 5>와 <그림 6>는 총 크레인 대수의 변화에 따른 크레인 할당정책 즉 고정배치와

유동배치 최대 4대 그리고 유동배치 최대 5대의 경우에 대한 결과표와 그래프이다.

크레인을 고정배치하는 경우에는 총크레인수가 증가함에 따라 선박체류시간, 선박대기시간, 접안시간 등이 현격하게 감소한 결과를 보이고 있으나, 크레인 배치를 유동적으로 하는 경우에는 크레인수가 증가하더라도 성능치의 개선이 거의 없거나 미미한 결과를 보이고 있다.

<표 4> 총 컨테이너 크레인 대수에 따른 시스템 성능 비교표

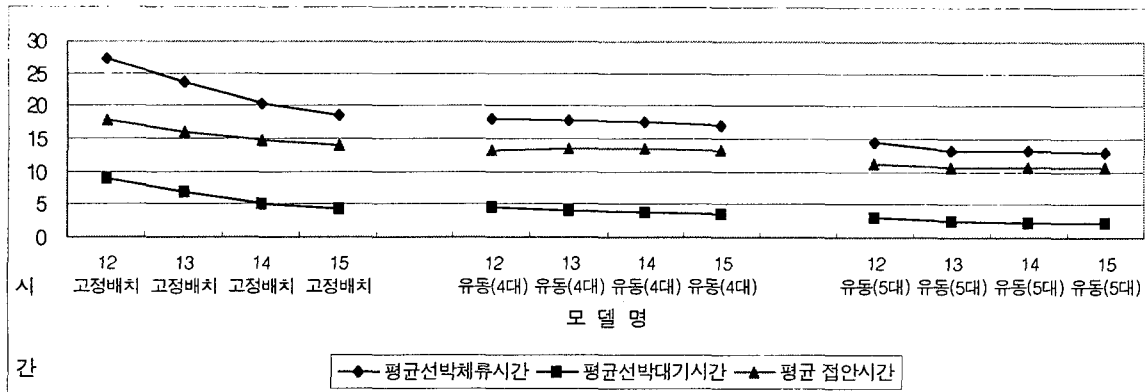
크레인수	크레인 배치방식	평균선박체류시간	평균선박대기시간	평균 접안시간
12대	고정배치	27.213	9.005	17.726
	유동배치(4대)	18.016	4.545	13.270
	유동배치(5대)	14.420	2.962	11.213
13대	고정배치	23.574	6.919	15.970
	유동배치(4대)	17.679	4.031	13.480
	유동배치(5대)	13.297	2.425	10.678
14대	고정배치	20.361	5.174	14.687
	유동배치(4대)	17.460	3.843	13.397
	유동배치(5대)	13.160	2.357	10.633
15대	고정배치	18.604	4.335	13.924
	유동배치(4대)	17.150	3.680	13.291
	유동배치(5대)	13.058	2.283	10.612



<그림 5> 총 컨테이너 크레인 대수에 따른 시스템 성능 비교

<표 5> 크레인 할당방식에 따른 시스템 성능 비교표

할당방식	크레인 수	평균선박체류시간	평균선박대기시간	평균 접안시간
고정배치	12대	27.213	9.005	17.726
	13대	23.574	6.919	15.970
	14대	20.361	5.174	14.687
	15대	18.604	4.335	13.924
유동배치(4대)	12대	18.016	4.545	13.270
	13대	17.679	4.031	13.480
	14대	17.460	3.843	13.397
	15대	17.150	3.680	13.291
유동배치(5대)	12대	14.420	2.962	11.213
	13대	13.297	2.425	10.678
	14대	13.160	2.357	10.633
	15대	13.058	2.283	10.612



<그림 6> 크레인 할당방식에 따른 시스템 성능 비교

3.2 대상 터미널의 연간 컨테이너 처리능력 추정

1) 컨테이너터미널 하역능력 추정

컨테이너 터미널의 연간 하역능력을 추정하기 위해 상기에서 좋은 결과를 보인 대안 중에서 크레인을 유동적으로 5대까지 할당하며, 선석할당방식이 BA1일 때, 크레인 대수가 12대인 경우를 선정하여 선박의 평균도착간격을 5%씩 감소시켜가면서 시뮬레이션을 수행하였다. (<표 6> 참조)

컨테이너터미널에서는 일반적으로 선박체류시간중 대기시간비율이 10% 이내를 고객에 대한 목표서비스 수준으로 보고 있다[9]. 시뮬레이션 결과 크레인수가 12대인 경우에는 평균 선박도착간격이 15% 감소시에는 대기시간비율이 10% 이하를 보이다가 선박도착간격이 20% 감소시에는 10%가 넘는 결과를 보이고 있다. 따라서 이러한 경우 서비스수준을 10%로 볼 때 개략적인 선형보간법을 사용하여 계산하면 터미널 연간 하역능력은 약 175만개(280만 TEU)라고 판단된다.

<표 6> 선박도착간격 변화에 따른 컨테이너 처리량 비교

	선박체류시간(A)	선박대기시간(B)	선박대기시간 비율(B/A)	컨테이너 처리 개수
A1	12.158	0.469	3.908(%)	1.4812E+06
A2	12.500	0.747	5.976(%)	1.5589E+06
A3	12.877	0.862	6.694(%)	1.6297E+06
A4	13.312	1.140	8.563(%)	1.7024E+06
A5	13.961	1.587	11.367(%)	1.7830E+06

* A1 : 초기 도착간격을 그대로 적용
 A3 : 선박도착간격이 10% 감소한 경우
 A5 : 선박도착간격이 20% 감소한 경우

A2 : 선박도착간격이 5% 감소한 경우
 A4 : 선박도착간격이 15% 감소한 경우

2) 선박 크기의 구성비에 대한 컨테이너터미널 처리능력의 민감도 분석

앞절에서 제시된 컨테이너 터미널 하역능력은 향후 자동화된 컨테이너터미널을 가정하여 모든 입항 선박이 5만톤을 전체로 하여 산정된 결과이다. 현재 실제 터미널들은 3만톤급과 5만톤급이 혼재하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 크레인이 12대이고 선석할당방식은 BA1 그리고 크레인은 고정적으로 배치하는 경우에 대하여 3만톤급과 5만톤급의 점유비를 10%씩 변경시켜가면서 시물레이션을 수행하였다. <표 7>은 민감도 분석 결과이다. 여기서 비교 대상으로 잡은 S6는 참고 문헌에 나오는 자동화 컨테이너터미널[9]에 대한 구상에서 제안한 모델을 기초로 하였다.

3만톤급 선박의 비율이 증가할수록 연간 컨테이너 처리 개수가 감소하는 것을 보이고 있다. 모든 선박이 5만톤급일때는 연간 처리량이 약

148만개(236.8만 TEU)에서, 3만톤급과 5만톤급의 점유비가 5:5일 경우에는 약 120만(192만 TEU)로 낮아짐을 볼 수 있다.

4. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 4개의 선석으로 이루어진 컨테이너 터미널의 본선하역 부문을 중심으로 시물레이션 모형을 수립하였으며, 4가지 선석할당 방식과 3가지 컨테이너 크레인 할당방식, 그리고 총 컨테이너 크레인수를 변경시켜가면서 시물레이션을 수행하였다.

그 결과 선석 할당방식은 선석에 할당된 크레인수, 누적처리선박수 그리고 대기선박수의 합이 최소가 되는 선석에 선박을 할당하는 대안(BA1)이 여러 측면에서 가장 좋은 성능치를 보였으며, 크레인 할당방식은 크레인을 유동적으로 최대 5대까지 배치하는 방식이 가장 좋은 결과를

<표 7> 선박크기 점유비에 따른 터미널 성능치 비교

	선박체류시간	선박대기시간	접안시간	총 처리량	처리 선박수
S1	17.239	0.733	16.136	1.1980E+06	1248
S2	17.582	0.797	16.410	1.2513E+06	1248
S3	17.933	0.867	16.708	1.3010E+06	1248
S4	18.428	0.990	17.050	1.3667E+06	1248
S5	18.818	1.107	17.396	1.4281E+06	1248
S6	19.200	1.188	17.670	1.4805E+06	1248

* 주: S1- 선박 3만톤급과 5만톤급의 비율이 5 : 5 인 경우
 S2 - 4 : 6 인 경우 S3 - 3 : 7 인 경우
 S4 - 2 : 8 인 경우 S5 - 1 : 9 인 경우
 S6- 선박이 전부 5만톤급인 경우

보이고 있다. 터미널내 총 크레인수를 증가시켜 가면서 시뮬레이션한 결과 크레인을 고정배치한 경우에는 크레인수가 증가함에 따라 성능치가 개선되나, 유동적으로 크레인을 배치하는 경우에는 성능치 개선효과가 미미한 것으로 나타났다.

일반적인 터미널의 고객에 대한 서비스 수준을 고려하여 컨테이너 터미널의 연간하역능력을 산정한 결과 175만개(280만 TEU)로 산정되었다. 그러나 이것은 정부가 계획중인 자동화터미널과 같이 모든 입항 선박이 5만톤인 것을 전제로 한 것이나 현재의 실제 터미널 상황을 고려한다면 터미널 하역능력은 훨씬 낮은 수준이 될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 본선하역만을 고려한 것이어서 실제 터미널의 성능평가로는 미흡하다고 생각된다. 터미널내 야드작업, 야드와 선석간 이동 작업, 게이트처리작업 등이 고려되었을 경우 야드 선정방식, 이송장비 대수, 야드 하역 방식, 야드 크레인 할당방식, 게이트 처리 방식 등을 고려한 컨테이너터미널의 성능평가 및 하역능력 산정에 대한 연구가 추후 연구과제이다. 또한 컨테이너 크레인을 유동적으로 배치하는 경우 크레인 이동 시간을 고려하여 모델링함으로써 현장 운영사항을 보다 잘 반영한 연구가 요청된다.

참고문헌

- [1] 김창곤, "전용부두에서의 화물 유통량을 고려한 하역능력 검토", *Ocean Research*, 제14권, 제1호, pp.53-62, 1992.
- [2] 윤영철, 문성혁, "컨테이너 터미널 사용자 비용을 최소화 하는 선석과 크레인의 최적 구성에 관한 연구", *한국항만학회지*, 제9권, 제2호, pp.39-49, 1995.
- [3] 윤원영외 3인, "시뮬레이션을 이용한 컨테이너 터미널의 운영계획 평가", *시뮬레이션학회지*, 제7권 제2호, pp 91-104, 1998, 12.
- [4] 장성용, 박진우, "시뮬레이션 기법을 이용한 컨테이너 터미널의 운영시스템 결정", *산업공학*, 제1권, 제1호, pp.49-62, 1988.
- [5] 장성용, "시뮬레이션 기법을 이용한 컨테이너 터미널 하역능력 추정", *한국시뮬레이션학회지*, 제5권 제1호, 53-66, 1996.6
- [6] 장영태, *Port Investment Planning Using a Computer Simulation Model*, 연세대학교 대학원 박사학위논문, 1995.12
- [7] 조덕운, "컨테이너항 전산 모의실험 모형의 개발", *대한산업공학회지*, 제11호, 제2권, pp.173-187, 1985.
- [8] 한국해양수산개발원, *한국에서의 자동화컨테이너터미널 개발 필요성(항만정책공청회자료)*, 1998, 7.
- [9] 한국해양수산개발원, *자동화컨테이너터미널 개발사업 타당성 검토 용역(최종보고서)*, 1998. 12.
- [10] Cochran J. K. and Lin L. "Application of Computer Simulation to Freight Transport Systems." *Journal of Operational Research Society*, Vol.40, No.5, pp.433-441.
- [11] ESCAP, *Manual of Port Simulation Model*, Tokyo, 1987.
- [12] Frankel, E.G., *Port Planning and Development*, John Wiley and Sons, 1987.
- [13] Hassan, Said Ali, "Port Activity Simulation: An Overview", *Simulation Digest*, Vol.23, No.2, 17-36.
- [14] Hayuth, Y., Pollatschek, M. A., and Roll, Y. "Building A Port Simulator," *Simulation*, Vol.63, No.3, pp.179-189, 1994.
- [15] Koh, P. H., et. al., "A Decision Support System for Container Operations", *New Directions in Simulation for Manufacturing and Communications*, pp451-457, 1994.

- [16] Kozan, E., "Increasing the Operational Efficiency of Container Terminals in Australia," *Journal of the Operational Research Society*, Vol.48, pp.151-161, 1997.
- [17] Kondratowicz, I. J., "Methodological Solution for Increased Efficiency of Modelling and Simulation of seaports and Inland Freight Terminals", *Maritime Policy and Management*, Vol.19, No.2, pp.157-164.
- [18] Park, C. S., Noh, Y. D., "A Port Simulation Model for Bulk Cargo Operations," *Simulation*, Vol.48, No.6, pp.236-246, 1987.
- [19] Ramani, K. V. "An Interactive Simulation Model for the Logistics Planning of Container Operations in Seaports," *Simulation*, Vol.66, No.5, pp.292-300, 1996.
- [20] Silberholz, M. B., Golden, B. L., and Baker, E. K., "Using Simulation to Study the Impact of Work Rules on productivity at Marine Container Terminals," *Computers & Operations Research*. Vol.18, No.5, pp.433-452, 1991.
- [21] Ward, T.A., "Computer Simulation in Marine Terminal Planning-Creation of a Generic Engineering Tool," *Bulletin*, No.70, pp.104-109, 1990.

● 저자소개 ●

장성용 (E-mail: syjang@duck.snut.ac.kr)
 1990년 서울대학교 산업공학과 졸업(공학사)
 1982년 서울대학교 산업공학과 대학원 졸업(공학석사)
 1991년 서울대학교 산업공학과 대학원 졸업(공학박사)
 1983 ~ 1984년 한국해양연구소 해운항만연구실 연구원
 1985 ~ 1987년 한국해운산업연구원 항만연구실 연구원
 1994 ~ 1995년 미국 미시간대학교 연구교수
 1987 ~ 현재: 서울산업대학교 전임강사, 조교수, 부교수
 관심분야: 시뮬레이션, FMS, CALS/EC