

컨테이너터미널의 장치장 보관능력 평가: 시물레이션접근*

Evaluating the Storage Capacity of a Container Terminal: A Simulation Approach

박병인**

목 차

- | | |
|--------------|----------|
| I. 서론 | IV. 사례분석 |
| II. 문헌연구 | V. 결론 |
| III. 시물레이션모형 | |

Key Words: container terminal, yard, storage, simulation, percentile

Abstract

There were many theoretical studies using mathematical models about a yard storage capacity in a container terminal so far, but a simulation approach is newly popularizing. The reason why the simulation studies about yard storage capacity were a few was that once the most important part in a container terminal was a quay part. However, from the economic crisis year of 1997, the yard storage part in a container terminal became a critical resource because of the shortage of SOC investment resources. Therefore, after discharging or loading even though there was a waiting in the quay part or not, it can be swiftly improved the efficiency of a container terminal if it was handled rapidly or smoothly in a container yard. So the accurate assessment of yard storage capacity in a container terminal was needed. This study planned to assess the operation capability of a container yard via a simulation model. The model included many characteristics of three Korean container terminals such as Gamman Hanjin, Uam, and Hutchison Busan at the period of 1999 to 2000. The 95 % percentile was chosen as a criterion for judging of the storage capability by the recommendation of KPC (1998) and JWD (1998). A simulation approach with system dynamics concept considering the multi-directional impacts within the related variables can probably foresee the future storage capacity of a terminal not just the past.

-
- 1) 본 연구는 2001년도 여수대학교 학술연구과제지원비에 의해 연구되었음
 - 2) 여수대학교 물류시스템학과, bipark@yosu.ac.kr, (061)659-3351

I. 머리말

글로벌 공급사슬(Global Supply Chain)의 주요 구성요소인 컨테이너 터미널은 전 세계와 해당 국가를 연결시켜주는 관문의 역할을 하며, 우리나라와 같이 대외의존도가 매우 높은 국가에서 더욱 중요시되고 있다. 해상수송은 전체수출입화물의 약99%를 처리하고 있으며, 해상운송화물중 고부가가치화물을 주로 운송하는 컨테이너선을 접안작업하는 컨테이너 터미널은 글로벌 물류의 실제적인 출발점으로 그 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않는다.

주요선진물류 국가인 네덜란드, 싱가포르, 및 홍콩 등은 이와 같은 컨테이너터미널의 하역작업 및 환적운영으로부터 많은 국가 수입을 얻고 있다. 이는 부존자원이 빈약하나 3면이 바다에 면해있으며, 일본 및 중국 등 동북아의 글로벌 공급사슬을 구성하기 유리한 지정학적 위치를 점하고 있는 우리나라의 경우에도 시사하는 바가 매우 크다.

국내 컨테이너 항만들이 동북아의 글로벌 공급사슬상의 주요 구성요소가 되기 위해서는 고객들에 대한 높은 수준의 서비스를 위한 지속적인 투자가 필요하다. 그러나 우리나라는 1997년의 위기이후 경제침체로 인해 컨테이너터미널을 비롯한 사회간접자본의 투자재원 조달에 곤란을 겪어, 투자에 앞서 현 상황에 대한 보다 정확한 분석이 필요한 실정이다. 그동안 컨테이너터미널의 개발과 관련된 많은 연구들은 1970년대초에 UNCTAD에서 발표한 '대기행렬이론'에 기초한 방법을 통해 계산한 선석당 처리능력을 기준으로 터미널의 처리능력을 개략적으로 산정하여 터미널 개발의 기준으로 삼아왔다(임진수·박병인, 1991). 이러한 방법은 활용하기 상당히 용이하지만 환경의 변화를 반영하지 못한다는 문제가 있었다. 이에 보다 고도화되고 과학적이며 다양한 환경변화를 동시에 반영할 수 있는 시뮬레이션 기법이 도입되었다.

초기의 시뮬레이션 연구들에 있어서도 통한 안벽처리능력을 기준으로 컨테이너터미널의 능력을 계산하였다(박병인 외, 1997, 1998 및 1999). 이는 크게 안벽, 야드, 게이트의 3하위시스템으로 구성되는 컨테이너 터미널 시스템의 처리능력이 주로 안벽의 능력에 기초하여 평가될 수 있기 때문이었다. 즉, 야드나 게이트에서의 처리능력은 안벽의 처리능력을 만족하는 경우 큰 문제없이 화물을 처리할 수 있었다. 기존에 이루어진 컨테이너터미널관련 시뮬레이션 연구는 물동량이 많아진 컨테이너터미널에서는 야드 장치장보관능력이 전체 컨테이너흐름의 애로자원을 형성할 가능성이 높아지고 있다. 그러나 그 동안 통합시뮬레이션모형보다는 안벽을 위주한 연구들이 주로 이루어져 야드 장치장처리능력을 산정하는 연구를 찾기가 쉽지 않았다.

따라서 본 논문에서는 이와 같은 상황하에서 1999~2000년 기준으로 국내의 3개 터미널의 자료(감만한진, 우암, 그리고 허치슨부산)를 통해 1999~2000년의 컨테이너 터미

널을 구성하는 시뮬레이션모형을 구축하고, 이를 통해 컨테이너 터미널의 장치장운영능력을 평가해 보는데 목적이 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장은 관련연구들을 살펴보고, 3장에서는 시뮬레이션모형을 구축한다. 또한 4장에서는 실제 예를 든 3개의 터미널의 사례를 사용한 실험과 결과분석을 수행한다. 마지막으로 5장에서는 결론과 추후연구과제를 제시한다.

II. 기존문헌 검토

컨테이너 터미널의 야드관련 연구들은 크게 재고량, 장치장운영전략, 장치장소요면적, 처리능력산정 등의 4가지가 서로 연계되어있다.

배종욱·김창곤(2001)과 배종욱·김기영(2002)은 장치장의 재고량 분석과 관련되어 선박도착간격, 작업량 등 주요 입력변수의 정적인 상황을 가정한 수리모형을 이용해 신규터미널의 개발에 응용가능한 연구를 수행하였으나 실제 터미널의 동적인 상황을 반영하지는 못했다.

그러나 김창곤·배종욱(2001)은 선박도착간격, 화물별구성비율, 및 화물별 무료장치기간의 변화를 반영한 시뮬레이션 모델을 이용해 보다 실제적인 재고량 분석 연구를 수행했다.

또한 Roux(1996)와 Taleb-Ibrahimi(1989)는 각각 트랜스퍼크레인을 사용하는 수입장치장과 수출장치장에 대한 장치장 운영전략을 분석했다. Kim & Bae(1998)는 컨테이너 야드내에 수출컨테이너를 리마살링(re-marshalling)하는 방법에 대해 연구했다. 그리고 Kim & Kim(1999)는 수출컨테이너장치장에서의 야드크레인 효율성을 높이기 위한 블록내 작업순서를 정하는 방법에 대해 연구했다.

한편 소요면적과 관련된 UNCTAD(1973, 1985) 및 Frankel(1987)의 연구는 장치장의 정적인 특성만을 고려하였다. 이 방법에서는 장치장을 이용하는 화물의 연간 회전율을 산출하여 평균재고량을 구하고 이에 경험계수를 고려하여 소요 재고량을 산정한다. 또한 Taleb-Ibrahimi(1989)는 정해진 량의 운송량에 적합한 안벽소요면적, 처리장비, 및 작업에 대해 연구했다. 특히 이 연구는 컨테이너 도착 및 하역패턴, 선형, 그리고 출발빈도를 감안한 여러 가지 시나리오들을 검토하였다.

그러나 Elizabeth(1996)는 장치장의 동적인 특성을 반영하기 위해 터미널의 시뮬레이션 분석을 실시했다. 이는 일정기간 동안 장치장의 재고량 변화를 수집한 다음에 적정분위량을 처리하는데 필요한 장치장 소요면적을 구하는 방법이다. 또한 Chung 외(1988)와 Silberholz(1991)는 입항예정선박의 작업물량, 도착간격시간 그리고 작업생산성

을 고려한 시뮬레이션 모형을 통해 장치장의 화물 재고량을 분석했다.

실제로 장치장의 취급능력은 장치장의 크기, 장치정책 및 운영방법에 의해 결정된다. 장치장 보관능력을 향상시키기 위해 화물을 고단적 할수록 장치장의 밀도는 높아지지만 적하 또는 반출작업시에 특정 컨테이너를 뽑아내는 능력인 접근성은 떨어진다. 이것은 토지이용률은 향상되지만 컨테이너 취급비용은 증가하게 되는 경제적인 트레이드 오프 관계가 존재한다(Tongzon, 1995). 따라서 터미널의 설계에서는 터미널의 적정 처리물동량에 부합되는 장치장 소요공간을 예측하는 것이 목표 작업생산성의 달성에도 매우 중요한 사항이다.

본 연구는 시뮬레이션을 사용해 기존에 개발되어 운영중인 컨테이너 터미널을 대상으로 기존에 장치장면적, 단적수 등이 정해진 상황에서 95%백분위량을 기준으로 1일 처리량의 다소를 판단하여 장치장 운영의 시사점을 제시 하고자 한다.

III. 시뮬레이션 모형

1. 기초자료

시뮬레이션 기법을 이용하여 컨테이너 터미널의 야드 장치장보관능력을 산정하기 위해서는 과거실적 자료에 대한 다양한 모수가 추정되어야만 한다. 추정된 각종 모수들을 사용하여 컨테이너터미널의 야드분석 시뮬레이션모형을 구축한다. 또한 수행된 결과들을 통해 최종적으로 현 컨테이너 터미널의 장치장처리능력을 산정한다.

본 논문에서 분석하는 컨테이너야드는 선박으로부터의 수입컨테이너, 그리고 게이트를 통해 들어오는 수출용 컨테이너를 동시에 고려해야만 하기 때문에 통합시뮬레이션의 성격을 갖는다. 그러나 하나하나의 장비의 움직임까지 감안하는 통합시뮬레이션모형은 크게 복잡하기 때문에 본 논문에서는 임진수·박병인(1991)을 확장적용한 컨테이너터미널 통합시뮬레이션모형을 사용한다. 모형의 구축및 실험을 위해서는 시뮬레이션 전용언어인 AweSim Version 3.0을 사용한다(Pritsker, 1986; Pritsker 외, 1999). 실제 분석대상은 1999~2000년 기준의 감만한진, 우암 및 허치슨부산 등 국내 3개 컨테이너 터미널이다.

실제로 필요한 모수들은 다음과 같다. 우선 안벽부분을 위한 모수는 선박의 도착간분포, 요일별 도착비율, 선박별 하역개수, 컨테이너종류별 처리량, 그리고 컨테이너크레인 작업효율 등이다. 또한 장치장 부분을 위해서는 안벽모형에 사용되는 모수들 외에 장치장 특징, 컨테이너종류별 장치일수 분포 등의 자료를 필요로 한다. 마지막으로 게

이트부분을 위해서는 앞의 모수들 외에 게이트의 1일 반출입 컨테이너량 및 분포, 연중 반출입 컨테이너 량 및 분포 등이다.

2. 시뮬레이션 네트워크모형

컨테이너터미널의 안벽처리능력 분석 시뮬레이션 모형을 이미지형 AweSim언어로 표현한 네트워크 모형이 <그림 1>에 제시되어 있다. 본 논문에서는 지면상 전체 시뮬레이션 모형중 중복되는 부분을 생략하였다.¹⁾

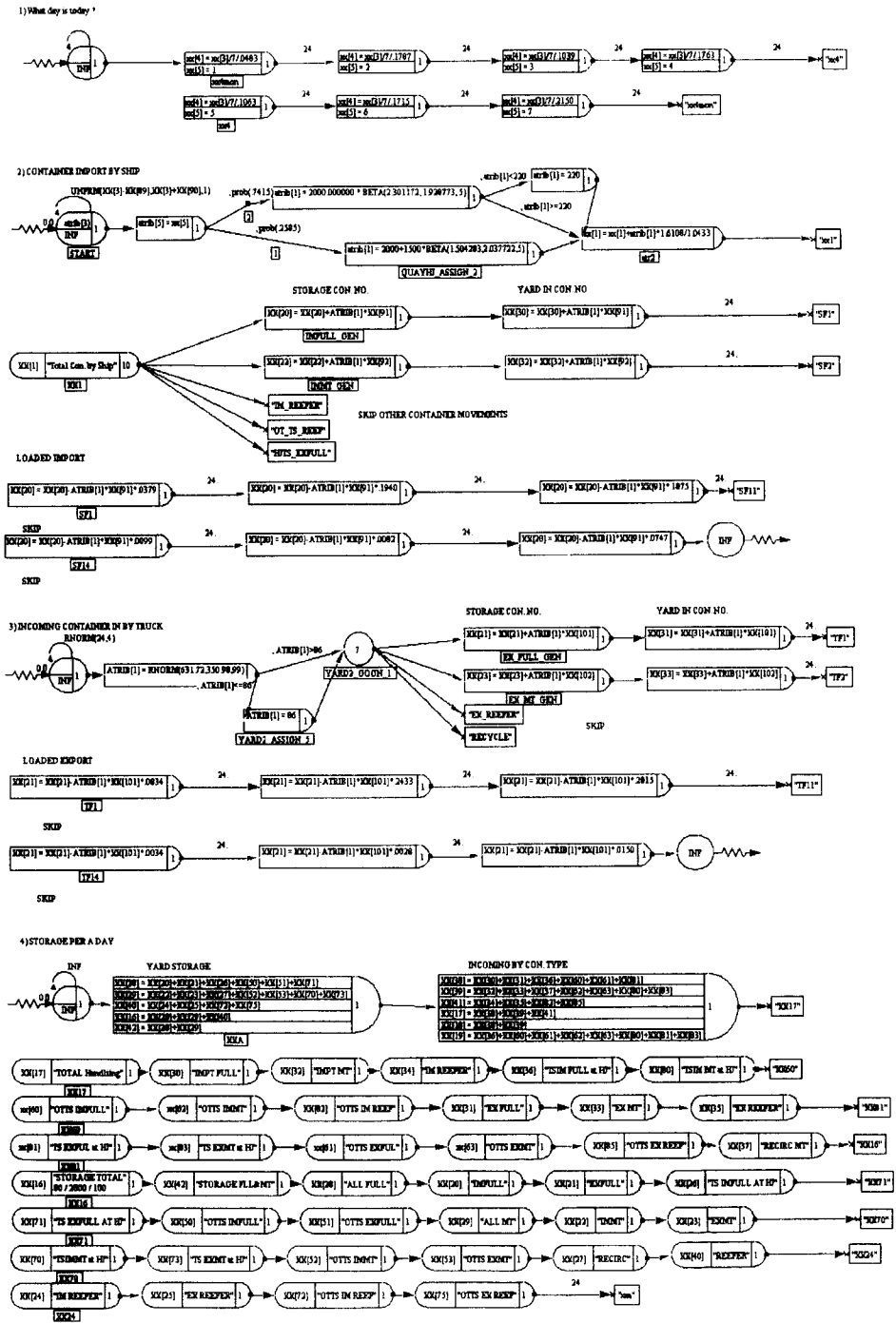
먼저 안벽에서의 수입컨테이너 도착은 정요일서비스(weekly service)를 제공하는 컨테이너선의 운항특성을 반영하기 위해 평균도착시간간격의 요일별 변동을 감안한 선박의 실제도착시각과 예상도착시각의 차이를 표현하는 일양분포(uniform distribution)를 따른다(JWD, 1998 및 1999; KPC, 1998; 김창곤 외, 2000).

여기서 선박별로 수입되는 컨테이너 물량은 선박도착시 ExpertFit을 활용해 추정된 하역 컨테이너 (수출입 및 환적 컨테이너) 개수의 분포를 이용한다. 이렇게 추정된 분포에 따라 발생된 선내이적물량을 포함하는 선박당 하역량을 화물별 구성비를 기준으로 그 비율에 따라 발생시킨다. 따라서 각 종류별 컨테이너의 개수 또는 전체의 대한 비율을 통해 선박의 도착, 즉, 수입컨테이너의 도착후 종류별 컨테이너의 장치장 장치 현황을 계산할 수 있다. 실제 도착선박의 화물별 하역컨테이너수는 선박당 추정된 총하역컨테이너수에 화물별 비율을 곱하여 구한다.

한편 게이트를 통해 반입되는 육송 반입 컨테이너는 하루 종일 지수분포에 따라 터미널로 반입되며, 매시간의 반입량은 과거의 시간대별 게이트 반입량과 같이 변동되는 것으로 가정하였다. 연간 1일 육송 반입 컨테이너 물량은 ExpertFit로 추정한 분포를 따라 반입된다. 또한, 화물 종류별 육송반입컨테이너의 물량은 1일 반입컨테이너수에 기간평균의 화물별 반입컨테이너비율을 곱하여 추정한다. 단, 재유통공컨테이너의 비율은 연중 반입컨테이너수에서 다른 모든 컨테이너를 제외하고 남은 컨테이너를 재유통공컨테이너의 비율로 추산했다(임진수·박병인, 1999).

본 시뮬레이션 모형에서는 시뮬레이션 시작후 시스템이 안정상태에 이른 후의 값을 구하기 위해 시뮬레이션 초기의 불안정기간(warm-up time)동안의 자료를 지운 후 안정상태의 기록만을 추적하여 분석한다.

1) 시뮬레이션 변수 및 모형에 대한 자세한 설명은 Pritsker 등(1999) 참조.



<그림 1> 장치장 시뮬레이션 네트워크 모형

VI. 사례분석

1. 입력자료

실제 시뮬레이션을 위해서는 컨테이너선의 도착율이 필요하며, 컨테이너선의 특성에 따라 예정입항시각과 실제입항시각의 차이를 구현할 수 있는 일양분포를 사용했다. 또한 선박을 통해 수입된 선박당 컨테이너수의 분포는 ExpertFit을 이용해 추정된 결과 감만한진이 수정베타분포(베타분포 2개의 결합분포), 우암터미널은 수정정규분포(정규분포 2개의 결합)로 나타났으나, 허치슨부산터미널의 경우는 특정의 이론분포로 추정할 수 없어 경험분포를 사용하였다.

한편 게이트를 통해 육송반입되는 컨테이너는 하루종일 지수분포에 따라 반입되며, 연중 정규분포에 따르는 것으로 추정되었다. 또한 1일 육송반입컨테이너수의 연간분포는 모두 정규분포를 따르는 것으로 추정되었다(<표 1> 참조).

<표 1> 터미널별 추정 분포

구분	감만한진	우암	허치슨부산
컨테이너선 도착율	일양분포	일양분포	일양분포
육송반입컨테이너의 도착	· 1일: 지수분포 · 매일: 정규분포	· 1일: 지수분포 · 매일: 정규분포	· 1일: 지수분포 · 매일: 정규분포
수입 컨테이너물량	수정베타분포	수정 정규분포	경험분포
육송반입컨테이너물량	정규분포	정규분포	정규분포

한편 <표 2>에는 터미널 및 컨테이너종류별 장치기간분포가 제시되어 있다. 실제로는 환적화물종류별(자부두환적 적컨, 자부두환적 공컨, 타부두환적 적컨, 타부두환적 공컨 등), 냉동컨종류별 등 더욱 자세한 컨테이너장치비율을 사용하였으나 여기서는 주요 화물인 수출 및 수입화물에 대한 것만을 제시했다. 표에 따르면 전반적으로 수출화물에 비해 수입화물이 장치장에 머무르는 기간이 길었다. 90%백분위량을 기준으로 터미널별 적컨테이너의 반출일자를 살펴보면, 감만한진의 수출화물은 6일, 수입화물은 12일이 소요되었다. 또한 우암터미널의 경우 수출화물이 4일, 수입화물은 6일이 소요되나, 허치슨부산터미널은 수출이 5일, 수입화물은 10일이 지나야 반출이 되었다. 실제로 상당수의 화물들이 컨테이너 터미널의 장치장에 오랜기간 머무르는 것으로 나타났다.

<표 2> 컨테이너 종류별 장치기간 분포

단위: %

구분	감만한진				우암				허치슨부산			
	수출		수입		수출		수입		수출		수입	
장치 일수	적	공	적	공	적	공	적	공	적	공	적	공
1	0.083	0.109	0.038	0.029	0.388	0.307	0.257	0.162	0.277	0.573	0.232	0.124
2	0.243	0.260	0.194	0.170	0.366	0.325	0.214	0.218	0.375	0.265	0.205	0.196
3	0.281	0.278	0.187	0.190	0.134	0.165	0.158	0.190	0.179	0.098	0.139	0.191
4	0.153	0.175	0.136	0.165	0.053	0.072	0.120	0.193	0.067	0.024	0.119	0.176
5	0.088	0.050	0.103	0.137	0.020	0.026	0.132	0.190	0.024	0.008	0.094	0.143
6	0.053	0.034	0.064	0.088	0.010	0.023	0.042	0.027	0.012	0.001	0.045	0.038
7	0.031	0.039	0.053	0.054	0.005	0.016	0.016	0.005	0.008	0.003	0.027	0.014
8	0.018	0.016	0.039	0.038	0.004	0.020	0.009	0.002	0.006	0.002	0.020	0.006
9	0.009	0.012	0.032	0.028	0.003	0.011	0.006	0.004	0.005	0.001	0.016	0.006
10	0.008	0.006	0.027	0.023	0.002	0.010	0.005	0.003	0.003	0.001	0.015	0.010
11	0.006	0.008	0.019	0.013	0.002	0.006	0.004	0.002	0.003	0.002	0.011	0.006
12	0.004	0.001	0.014	0.011	0.001	0.005	0.004	0.001	0.002	-	0.009	0.006
13	0.003	0.001	0.010	0.008	0.001	0.003	0.004	0.000	0.001	-	0.007	0.005
14	0.003	0.001	0.008	0.005	0.001	0.002	0.003	0.000	0.002	0.000	0.008	0.004
15+	0.015	0.009	0.075	0.040	0.011	0.010	0.026	0.002	0.039	0.025	0.054	0.074
합계	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

자료: 각 운영사

주: 감만한진과 우암은 1999~2000년 평균, 그리고 허치슨부산은 2000년 평균

2. 시뮬레이션 수행기간

장치장 분석모형의 단위기간은 시간(hour)이다. 장치장 분석모형에서 얻고자 하는 것이 연중 장치현황이므로 시뮬레이션 수행기간을 1년단위로 하는 것이 좋으나 좀 더 안정상태의 값을 구하고자 5년간의 시뮬레이션을 수행한 후 이를 연간평균하여 사용하였다. 따라서 각 부두에서는 5년간 43,800시간 (=365*24*5)의 시뮬레이션을 수행했다.

또한 안정상태를 얻기위한 안정화시간(warm-up time)은 따로 계산하지 않고 충분한 기간(8,760시간, 1년)을 고려하여, 실제 1회 시뮬레이션은 52,560시간 동안 수행했다. 또한 1회 시뮬레이션 수행에 따른 표본오차를 줄이기 위해 이러한 시뮬레이션을 10회 반복 수행한 후 이를 평균하여 사용했다

3. 모델의 유효성 분석

<표 3> 터미널별 장치장 처리량 비교

단위: TEU

구분	감만한진		우암		허치슨부산	
	실적치	시뮬레이션	실적치	시뮬레이션	실적치	시뮬레이션
총처리량	479,908	480,542	375,797	379,054	1,443,810	1,437,526
수입적	88,031	89,608	69,722	69,255	226,248	219,964
수입공	83,029	83,787	24,722	24,564	195,489	190,025
수입냉동	15,383	12,652	2,967	2,933	13,153	12,776
환적수입적	47,693	46,136	53,684	53,338	138,675	134,820
환적수입공	2,453	2,450	779	765	19,070	18,593
환적냉동	4,241	4,082	8,291	8,291	n.a.	n.a.
수출적	147,024	149,173	158,145	161,419	480,431	489,204
수출공	10,934	11,090	9,540	9,540	57,901	58,926
수출냉동	2,609	2,644	2,080	2,135	7,348	7,478
환적수출적	67,263	67,677	29,791	30,417	213,763	213,157
환적수출공	1,348	1,206	450	462	20,882	20,421
재유통공컨	9,900	10,037	15,626	15,935	70,850	72,162
연중장치량(적·공): 평균	4,922	5,717	2,528	2,928	-	1,3818
표준편차	782	1,099	824	566	-	2,147
최 대	6,991	9,604	5,331	5,088	-	21,892
최 소	2,519	2,682	667	1,370	-	7,866

자료: 실적치는 각 하역사 자료임.

실제로 앞에서 구축한 시뮬레이션모형에 3개 터미널의 데이터를 입력하여 시뮬레이션을 수행한 결과 각 터미널별 처리량은 실적치와 시뮬레이션결과가 대략 1%이내의 차이를 나타내 장치장 총처리량과 관련된 시뮬레이션 모형은 상당히 정확했음을 알 수

있다. 그러나 연중장치량 통계는 실적치와 시뮬레이션 결과가 차이를 보이고 있는데, 이는 재유통 공컨테이너 등의 일부 컨테이너화물의 장치기간 자료가 최근 것이 없어 다른 터미널의 과거자료를 원용했기 때문으로 볼 수 있다.

4. 실험 결과분석

<표 4>는 장치장 시뮬레이션 실험결과 구한 컨테이너 종류별 연중 장치현황이다. 컨테이너 터미널은 실제로 적·공컨테이너를 구별하여 장치하며 대부분의 컨테이너부두들이 하역 및 반출입의 편의 및 생산성 제고를 위해 일반적으로 수출·수입도 구별하여 장치하므로 터미널 운영시 필요한 자료는 전체 장치현황보다는 컨테이너 종류별 장치현황이다(임진수·박병인, 1991). 이를 감안한 각 터미널별 시뮬레이션 결과를 살펴보면 다음과 같다.

먼저 감안한진 부두의 경우 수출지역 일시장치능력은 4,158TEU, 수입지역 일시장치능력은 최대 3,696TEU이다. 그러나 시뮬레이션 결과에 의하면 1999~2000년 기간의 경우 환적컨테이너까지 감안한 적컨테이너의 최대 장치개수가 장치장 능력을 초과하는 것으로 나타났다.

장치장 분석모델에서 구한 수치들은 컨테이너 장치현황에 대한 통계이며, 실제 컨테이너장치장이 원활하게 운영되려면 대략 최대장치능력의 75%이내가 되어야만 하는 것으로 알려져 있다. 이러한 운영여유는 도착 예상 선박의 컨테이너를 양하하여 장치할 면적 준비, 반출입 장치장작업시 타 컨테이너의 위치이동 작업에 필요, 장치장 정리용도를 위해서도 필요하다.

또한, 컨테이너의 장치물량은 안정적인 것이 아니고 화물량의 변화에 따라 극심한 변동은 거치기 때문에 이 역시 터미널이 원활히 운영되려면 컨테이너터미널의 장치능력은 피크시의 능력을 대비하는 수준이어야만 할 것이다.

그러나 일반적으로 피크시의 물동량을 완전히 감당하는 정도까지로 장치장을 준비하는 경우는 없다. 실제로 부산신항만 개발관련 연구를 수행한 컨테이너터미널 개발분야의 선도기관인 미국의 JWD(1998 및 1999)나 네델란드의 KPC(1998) 등도 현실적인 기준인 1년 중 95%(95% percentile) 또는 99%(99% percentile) 기간 동안 여유있게 컨테이너를 처리할 수 있는 장치장 소요수준을 권고하고 있다. 본 연구에서도 시뮬레이션 모델을 사용하여 1999~2000년 실적치를 기준으로 한 95% 백분위 장치량을 계산해 보면 대략 7,600TEU 정도로 나타났다. 여기에 0.75라는 운영여유를 감안해주면 피크시에 필요한 최대운영가능 장치량은 10,200TEU로 계산된다. 이는 부두 일시장치능력인 9,594TEU에 비해 좀 높은 수준으로 1999~2000년 당시에는 동부두의 장치장이 부족했던 것으로 판단된다.

<표 4> 컨테이너 종류별 연중 장치량 분포

단위: TEU

터미널명	컨테이너 종류	평균	표준편차	최소	최대
감만한진	부 두 총 장 치 량	5,716.8	1,526.4	1,935.2	11,495.5
	일반화물 적공장치량	5,567.5	1,467.8	1,912.3	11,117.2
	적컨테이너 장치량	4,113.9	1,075.7	1,406.6	8,194.8
	수입 적컨 장치량	1,331.0	343.5	498.7	2,618.0
	수출 적컨 장치량	1,526.1	383.1	506.0	2,985.0
	환 적 적 컨 량	1,256.8	349.2	401.9	2,591.8
	공컨테이너 장치량	1,453.6	392.1	505.8	2,922.5
우암	냉동컨테이너 장치량	149.3	58.6	22.9	378.3
	부 두 총 장 치 량	2,928.0	801.7	889.1	6,053.9
	일반화물 적공장치량	2,890.4	790.2	880.5	5,972.5
	적컨테이너 장치량	2,342.1	660.3	691.2	4,946.4
	수입 적컨 장치량	651.9	153.1	266.7	1,235.4
	수출 적컨 장치량	993.4	315.8	215.8	2,286.6
	환 적 적 컨 량	696.8	191.4	208.7	1,424.4
허치슨부산	공컨테이너 장치량	548.3	129.9	189.2	1,026.2
	냉동컨테이너 장치량	37.6	11.5	8.6	81.3
	부 두 총 장 치 량	13,970.2	3,116.6	5,887.1	27,192.0
	일반화물 적공장치량	13,818.1	3,073.2	5,843.4	26,853.6
	적컨테이너 장치량	9,656.4	2,229.6	3,895.2	19,185.7
	수입 적컨 장치량	2,527.4	464.9	1,300.0	4,561.5
	수출 적컨 장치량	3,893.8	1,032.7	1,259.6	8,236.1
허치슨부산	환 적 · 적 컨 량	3,235.1	732.1	1,335.7	6,388.1
	공컨테이너 장치량	4,161.8	843.6	1,948.1	7,667.8
	냉동컨테이너 장치량	152.1	43.4	43.7	338.5

한편 우암터미널의 경우는 일반적인 컨테이너터미널과 같은 방식으로 장치장을 운영하나, 부두의 형태가 \cap 형이고 2000년에 새로 확장한 장치장블럭이 고가도로에 의해 분리되어 있기 때문에 다른 터미널에 비해 효율성이 떨어진다는 문제를 안고 있었다. 동부두의 수출지역 일시장치능력은 2,499TEU, 수입지역 일시장치능력은 최대 4,203TEU이다. 그러나 시뮬레이션 결과에 의하면 1999~2000년 기간의 경우 수출컨테이너의 평균 장치개수가 수입컨테이너의 경우보다 더 많은 것으로 나타났다. 따라서 화물별로 분리된 장치장의 할당을 수정하여 수출장치장을 좀 더 늘리는 방안이 필요했다. 또한 실제 2000년에 개장된 D블럭을 포함하면 장치장이 부족하지는 않았지만, 신규장치장을 개장하기 직전엔 1999년에는 극심한 장치장 부족현상을 겪었을 것으로 판단된다.

동부두의 경우도 앞서와 같이 간략하게 계산을 해보면 1999~2000년 실적치를 기준으로 한 95% 백분위 장치량은 대략 3,900TEU정도 였다. 여기에 0.75라는 운영여유를 감안해주면 피크시의 최대운영가능 장치량은 5,200~5,300TEU로 계산된다. 또한 부두 장치능력인 7,244TEU를 기준으로 운영여유를 감안해주면 대략 5,400TEU가 운영가능한 극한치로 나타나 장치장이 부족하지는 않은 것으로 나타났으나, 전술한대로 2000년에 신규확장된 장치장의 구조 문제로 이후에는 다른 터미널에 비해 좀 더 여유로운 장치장 운영이 필요하다.

한편 허치슨부산터미널의 수출지역 장치능력은 13,188TEU, 수입지역 장치능력은 최대 7,056TEU이다. 시뮬레이션 결과에 따르면 동부두는 전반적으로 장치장은 큰 문제가 없는 것으로 나타났다. 앞서와 같이 시뮬레이션을 이용해 구한 95% 백분위 장치량은 17,700TEU이다. 여기에 0.75라는 운영여유를 감안해주면 피크시의 최대운영가능 장치량은 23,600TEU로 계산된다. 또한 실제 부두 장치능력인 31,680TEU를 기준으로 운영여유를 감안해주면 대략 23,760TEU가 운영가능한 극한치로 나타나 동부두는 최대장치량을 넘는 장치능력을 보유하고 있음을 알 수 있다. 그러나 이는 ODCY사용비율이 높기 때문이며, ON-DOCK 운영이 본격화 되면 상황은 달라질 것으로 예상된다.

V. 결론 및 추후연구과제

본 연구에서는 컨테이너터미널에 대한 간략한 통합시뮬레이션 모형을 구축하여 1999~2000년 기준 감만한진, 우암, 그리고 허치슨 부산터미널 사례를 통해 국내컨테이너터미널의 장치장 처리능력을 평가해 보았다. 시뮬레이션에서 기준으로 삼은 95%백분위 장치량을 기준으로 할 때, 감만 한진의 경우 장치장이 부족했던 것으로 분석되었으나 나머지 우암과 허치슨 부산터미널은 장치장의 큰 부족현상은 겪지 않은 것으로 판단되었다.

실제로 감만한진의 경우는 단일선석으로 운영되는 선사전용 터미널이기 때문에 규모에 비해 많은 컨테이너를 처리하고 있어 이러한 결과는 당연히 예상되는 것이었다. 그러나 우암 터미널은 수치상으로는 큰 장치장 부족현상을 겪지 않았는데, 이는 2000년초에 신규로 확장된 일시장치능력 2,268TEU규모의 신규장치장(D 블록) 면적을 감안했기 때문이다. 실제로 이 장치장이 개장되기전인 1999년은 극심한 장치장 부족을 겪었을 것이며, 신규로 장치장은 다른 터미널과는 달리 부산시내를 관통하는 고가도로에 의해 다른 블록과 분리되어 있어 운영하기에 매우 비효율적인 요소를 내포하고 있었다. 이러한 점을 감안한다면, 우암터미널의 경우는 다른 터미널에 비해 장치장을 다소 여유가 더 크게 운영할 필요가 있을 것으로 판단된다.

한편 우리나라 최초의 컨테이너터미널인 부산자성대부두인 허치슨 부산터미널의 경우 과거 만성적인 장치장 부족 현상이 있었다. 그러나 실제로 현대상선으로부터 허치슨으로 운영사가 변경된 직후 처리물량이 급격히 감소된 2000년에는 아이러니하게 장치장의 부족현상이 상당히 개선된 것으로 모습을 나타낸 것으로 볼 수 있다.

본 연구는 장치장 처리능력을 평가하기 위해 간단한 통합시물레이션 모형을 구축·활용하였으나 연구에 몇가지 한계를 안고 있으며, 추후 이러한 문제를 개선하는 방향으로의 연구가 필요하다.

첫째, 실제 활용된 데이터중 큰 비중을 차지한 화물별 장치기간 자료중 재유통공컨테이너 및 냉동컨테이너의 장치기간자료가 따로 집계되지 않아 과거 다른 터미널의 데이터를 원용했다. 이러한 문제 때문에 실제 1일 장치량에 차이가 발생했으며, 추후에는 이를 감안한 연구가 필요하다.

둘째, 세가지 터미널을 전부 다 분석하기위한 표준적인 시물레이션모형을 구축하였다. 그러나 우암부두의 경우는 장치장의 형태가 다른부두에 비해 특수하기 때문에, 간략모형은 이러한 문제점을 간과할 수 있다. 추후에는 이러한 특수한 경우를 감안할 수 있도록 시물레이션 모형을 개선·적용 하여야할 것이다.

마지막으로 본 연구가 컨테이너터미널 연구에 일반적으로 시물레이션을 사용하여 동태적인 움직임을 분석하였지만, 단일의 변수간 영향이 아닌 복수변수간의 복잡한 영향을 분석하는 데는 소홀했다. 따라서 추후에는 복수변수들의 상호작용을 감안할 수 있는 시스템동태학(system dynamics)을 활용한 시물레이션 연구가 필요하다.

참고문헌

- 김창곤 외(2000), 「시물레이션 모델을 이용한 컨테이너터미널 안벽능력 분석」, 한국해양수산개발원
- 김창곤·배종욱(2001), "시물레이션을 이용한 컨테이너터미널 장치장 재고수준분석," 「해양정책연구」, 제16권 제1호, 한국해양수산개발원
- 박병인 외(1999), "대기이론과 시물레이션의 상호보완을 한 컨테이너터미널의 선박처리시스템 분석," 「경영학연구」, 제28권 제1호, 151-166.
- 박병인 외(1997), "대기행렬모형을 이용한 동부산 컨테이너 터미널의 안벽 대기시간 분석," 「로지스틱스연구」, 한국로지스틱스학회, 33-46.
- 박병인 외(1998), "혼잡컨테이너 터미널의 선박대기비용 추정을 위한 시물레이션 모형," 「한국생산관리학회지」, 한국생산관리학회
- 배종욱·김기영(2002), "확정적 상황에서 컨테이너재고량 분석을 위한 수리모형," 「경영과학」, 제19권 제1호, 한국경영과학회
- 배종욱·김창곤(2001), "컨테이너터미널의 야드 재고량분석에 대한 연구," 「해양정책연구」, 제16권 제1호, 한국해양수산개발원

- 임진수·박병인(1991), 「시뮬레이션을 이용한 컨테이너터미널의 능력산정연구」, 해운산업연구원
- Chung, Y-G, S.U. Randhawa, and E. D.McDowell (1988), "A Simulation Analysis for a Transtainer-based Container Handling Facility," *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 14,, No. 2, 113-125
- Elizabeth, G. J. (1996), *Managing Containers Marine Terminals: An Application of Intelligent Transportation Systems Technology to Intermodal Feight Transportation*, PhD thesis, The University of Texas at Austin.
- JWD(1998), *Pusan Newport Container Terminal Development*, Pusan New Port.
- JWD(1999), "Measurements of Port Productivity," in *Container Terminal Productivity, Cargosystems*.
- Kim, K. H. & J. W. Bae (1998), "Re-marshaling Export Container in Port Container Terminals," *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 35, No. 3-4, pp.655-658.
- Kim, K. H. & K. Y. Kim(1999), "An Optimal Routing Algorithm for a Transfer Crane in Port Container Terminals," *Transportation Science*, Vol, 33, No. 1, 17-33
- KPC(1998), *Pusan Newport Terminal Planning Study*, Pusan New Port.
- Law, A.M. & W.D. Kelton(1999), *Simulation Modeling and Analysis*, 3rd ed., McGraw-Hill.
- Pritsker, A.A.B.(1986), *Introduction to Simulation and SLAM II*, 3rd ed., John Wiley & Sons.
- Pritsker, A.A.B., J.J. O'Reilly, & D. K. LaVal(1999), *Simulation with Visual SLAM and AweSim*, 2nd ed., John Wiley & Sons.
- Rammi, K. V. (1996), "An interative simulation model for the logistics planning of container operations in seaports," *Simulation*, Vol. 66, No. 5, 292-300.
- Roux, E. D. (1996), *Storage Capacity for Import Containers at Seaports*, PhD thesis, University of California at Berkeley
- Siberholz, M. B., B. L. Golden, and E. K. Baker (1991), "Using Simulation to Study the Impact of Work Rules on Productivity at Marine Containers Terminals," *Computers and Operations Resrarch*, Vol. 18. No. 5, 433-452
- Taleb-Ibrahimi, M(1989). *Modeling and Analysis of Container Storage in Port*, Ph.D thesis, University of California at Berkeley.
- Tongzon, J.L.(1995), "Determinants of Port Performance and Efficiency," *Transportation Research Part A*, Vol. 29A, No. 3, 245-252
- UNCTAD(1973), *Berth Throughput*, United Nations
- UNCTAD(1985), *Port Development*, 2nd ed., United Nations.