

# 시뮬레이션 기법을 이용한 컨테이너 터미널 하역 능력 추정\*

## Estimation of the Handling Capacity of Container Terminals Using Simulation Techniques.

장성용\*\*

Seong Yong Jang

### Abstract

Container handling facilities in Korean ports have increased rapidly according to Korean industrialization and the worldwide containerization. Over 98% of total containers handled in Korean ports are handled in Pusan ports.

This paper presents the estimation method of annual container handling capacity of container terminals by the computer simulation models. Simulation models are developed utilizing SIMAN IV simulation package. Annual handling capacity of real container terminals such as BCTOC and PEECT was estimated by the proposed simulation models. Also, Annual handling capacity of planned or expected terminals in Pusan port was estimated.

The comparisons between container forecast demand and estimated handling capacity of Pusan port from 1996 through 2001 were made. It shows that Pusan port will have over two million TEU handling capacity shortage during that period and will face enormous port congestion. Lastly, mid-term and long-term capacity expansion plans of container terminals in Korean ports were discussed.

### 1. 서 론

우리나라는 지속적인 경제 성장과 더불어 항만물동량이 꾸준한 증가를 보이고 있다. 1985년에 수입이 101.1백만 톤, 수출이 31.4 백만톤, 연안화물이 67.9백만톤에서 1994년에는 수입이 277.3백만톤, 수출이 76.1백만톤, 연안 화

물량이 234.0백만톤으로 10년 사이에 수입은 연평균 11.9%, 수출은 14.1%, 연안 화물은 14.7%씩 증가하였다[10].

뿐만 아니라 화물 수송에 있어서 컨테이너화가 급속하게 진전되어 수출입 물동량에 있어서 컨테이너에 의한 화물 수송의 비중이 크게 증가하여 왔다. 컨테이너 화물량은 1985년에 수입이 6.96백만톤에서 13.918백만톤으로 연

\* 본 논문은 1995 학년도 서울산업대학교 공모과제 학술연구비에 의하여 연구되었음

\*\* 서울산업대학교 산업공학과

평균 8.0 %증가를 보이고 있으며, 수출은 1985년 14.69백만톤에서 1994년 33.20 백만톤으로 연평균 9.5% 증가를 보이고 있다.

컨테이너를 처리 갯수 단위인 TEU<sup>1)</sup>를 기준으로 보면 1985년에 수입544.2천TEU, 수출 714.9천 TEU, 환적 7.0천TEU, 합계 1,259.1천TEU에서 1994년에는 수입 1,653.1천 TEU, 수출 1,787.6천 TEU, 환적297.0천TEU, 연안 98.5천TEU, 합계3,836.2천 TEU로 크게 증가 하였다.

우리나라 컨테이너의 98%가 부산항에서 처리되고 있다. 정부에서는 컨테이너 물동량을 처리하기 위해 부산항에 1978년에 2개 선석으로 이루어진 컨테이너 터미널(BCTOC)을 건설하였으며, 1983년에 2개 선석이 증축되었다. 1990년에는 부산항 신선대 부두에 3개 선석의 최신의 전용 터미널(PECT)을 완공하였다. 현재에는 부산항 4단계 컨테이너 터미널을 건설중에 있으며, 1998년에 완공될 예정이다. 부산항의 지리적 한계로 인하여 부산항의 컨테이너 처리 능력이 한계가 있을 것으로 판단되어 정부는 광양항에 대규모의 컨테이너 개발계획을 수립하여 1단계 공사가 이미 1993년에 시작되어 1997년에 4개 선석 규모의 전용 터미널이 완공될 예정이다. 이와 같이 전용 컨테이너 하역 시설의 건설이 진행되고는 있으나 우리나라 컨테이너 물동량의 증가 추세에 비하면 하역 시설이 크게부족한 실정이다. 따라서 정부는 부산 가덕도에 대규모의 항만시설을 건설하여 컨테이너 처리시설을 확충하고 또한 기존의 부산항을 재개발함으로써 컨테이너 처리 능력의 증대하기 위한 정책을 제시하고 있다.

항만하역 능력 산출 방식에는 확정적 접근 방법과 확률적 접근방법으로 나누어 볼 수 있으며, 확률적 방법에는 대기이론(queueing theory)과 시물레이션 기법이 있다.[19]

확정적 접근방법은 항만하역 능력에 영향을 주는 매개변수 값들을 확정적인 값으로 간주하고 개략적으로 하역 능력을 산출하는 방식으로 우리나라 항만의 공칭하역능력 산출<sup>2)</sup>에 사용하고 있다.[8]

대기이론은 주로 서버(server)가 단일 종류이고 도착분포와 서비스분포가 주어진 경우에 대기시간이나 자원들의 점유율 등을 추정하여 사용한다. 많은 항만 개발 투자 보고서에서는 선박의 도착분포는 지수분포이고 서비스 시간

이 지수분포임을 가정하여 사용하고 있으나 실제항만 시스템은 부두, 하역 장비 등 다단계로 이루어진 복잡한 시스템이기 때문에 대기이론은 현실적인 결과를 제공하지 못한다.[6][7][9][11]

시물레이션 기법은 주로 동적이고 복잡한 실제 시스템을 컴퓨터 모델화 함으로써 이를 통하여 시스템의 특성을 파악하고 시스템의 성능을 평가함으로써 시스템의 설계, 운영 및 개선에 기여할 수 있는 유용한 기법이라고 정의된다.[3][17] 시물레이션 기법은 항만의 동적이고 복잡한 시스템을 현실적으로 모델링함으로써 보다 정확한 능력 산출이가능하다. 그러나 컴퓨터 코딩 작업이나 반복 실험 등으로 많은시간과 비용이 요구된다.

항만에서의 주요 응용 분야는 항만 운영 분야와 항만 개발 분야로 나누어 볼 수 있다. 항만 개발 응용에서는 단위 부두 혹은 터미널의 개괄적인 시물레이션([6][12][18])과 항만 전체를 종합적으로 고려한 시물레이션 모형([6][14][15])이 있다. 항만 운영 분야의 응용은 기존의 항만 혹은 부두의 운영 효율을 높이기 위해 장비 확충, 하역 시스템의 개선 등이 주된 목적이다.[20]

컨테이너 터미널의 경우 터미널의 건설 계획 수립, 터미널의 최적 운영 시스템 개선 등을 위한 시물레이션 모형 등이 개발되어 사용되고 있다.[4][16]

본 연구에서는 중요성이 증대되고 있는 컨테이너 터미널의 중요성을 감안하여 컴퓨터 시물레이션 기법을 적용하여 컨테이너 터미널의 적정 능력을산출하는 방법을 제시하고, 현재 부산항의 기존 컨테이너 터미널과 계획이 확정되어 추진중인 컨테이너 시설들의 적정 능력을예측하여 장차 컨테이너 물동량에 대한 대처 방안을 제시하고자 한다.

제2장에서는 우리나라 컨테이너 수송 현황 및 장기 물동량 예측치를 살펴보고 제3장에서는 컨테이너 터미널 시스템의 구조 및 이에 대한 시물레이션 모형을 제시한다. 제4장에서는 3장의 시물레이션 모형을 이용하여 컨테이너 터미널의 적정 능력을 판단하며, 제5장에서는 부산항 컨테이너 시설의 과부족을 판단하여 이에 대한 개괄적인 해결 방안을 제시한다.

1) TEU는 Twenty Equivalent Unit의 약어로서 컨테이너 20 feet 하나를 의미한다.

2) 정부에서 항만별 부두별 공식적인 하역능력을 공시하고 있다.

## 2. 우리나라 컨테이너수송현황 및 장기 컨테이너 물동량 예측

우리나라는 항만의 컨테이너 처리량이 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다(표 1) 참조). 과거에는 소량의 환적 컨테이너를 제외하고는 대부분이 수출입 컨테이너 물동량임을 보이고 있다.[10] 그러나 최근에는 부산-인천간 연안 컨테이너 물동량이 발생하고 있으며 향후에는 마산항, 목포항 등에서도 연안 화물량이 생길 것으로 예측되고 있어 연안 컨테이너 물동량은 많은 증가가 예상된다. 중국의 경제 성장과 항만 사정의 열악한 조건, 일본 고베항 등의 문제 등으로 인해 환적 컨테이너 물동량도 최근 들어 급격히 증가하고 있으며 앞으로도 크게 증가할 것이 예상된다.[11]

〈표 1〉 우리나라 컨테이너 수송 실적

단위: 천 TEU

연도	수입	수출	환적	연안	계
1985	544.2	714.9	17.5	0	1259.1
1986	687.6	871.8	42.3	0	1559.5
1987	875.1	1058.5	62.0	0	1933.5
1988	970.1	1246.6	70.0	0	2216.7
1989	992.0	1288.0	98.6	0	2279.9
1990	1045.7	1347.5	75.4	0	2393.2
1991	1135.2	1431.8	70.3	0	2567.0
1992	1190.5	1530.1	78.0	0	2720.5
1993	1343.6	1597.0	191.1	0	2940.7
1994	1653.1	1787.6	297.0	98.5	3836.2

자료) 해운항만 통계연보, 해운항만청

항만별 수송현황을 보면 우리나라 컨테이너 처리량의 대부분이 부산항에서 처리되고 있음을 보이고 있다.(표 2) 참조) 이는 컨테이너 선박이 대형화 추세이고 항내에서의 체류시간이 극히 짧고 인천항의 지리적 여건 등으로 인하여 수도권 물동량이 전체의 40% 이상을 점유함에도 불구하고 선사들은 인천항을 기피하고 있는 실정이다. 그러나 최근 경부 고속도로의 급속한 정체로 인해 인천항의 물동량이 약간 증가하는 것을 보여주고 있다. 최근에는 울산항과 마산항이 일본 및 동남아 항로를 중심으로 소형 컨테이너선을 취급하고 있어 이 물동량도 증가하고 있으며 앞으로도 꾸준한 증가가 예상된다. 1998년에 광양

항에 컨테이너 전용 터미널이 완공되면 광양항에 대형의 컨테이너선이 기항하게 되어 광양항의 처리 물동량은 크게 증가할 것이라 사료된다.

〈표 2〉 항별 컨테이너 수송 실적

단위: 천TEU

연도\항만	부산항	인천항	기타항	계
1985	1155.3	103.8	0	1259.1
1986	1448.2	101.2	10.1	1559.5
1987	1825.1	108.3	0.1	1933.5
1988	2065.5	150.3	0.9	2216.7
1989	2158.8	115.7	6.4	2279.9
1990	2273.0	112.5	7.7	2393.2
1991	2447.4	118.9	0.7	2567.0
1992	2595.1	117.6	7.8	2720.5
1993	2807.4	112.9	20.4	2940.7
1994	3574.8	226.8	35.6	3836.2

자료) 해운항만 통계연보, 해운항만청

해운산업연구원의 예측 자료에 의하면 우리나라 전체 항만의 컨테이너 물동량은 1996년에 5,482 천TEU, 2001년에 9,853천TEU, 2006년에 13,955천 TEU, 2011년에 19,230천 TEU, 2020년에는 30,058천 TEU로 추정되었다(표 3) 참조).[11]

〈표 3〉 항만별 컨테이너 물동량 전망

단위: 천 TEU

항만\연도	1996	2001	2006	2011	2020
부산항	4,835	6,124	6,550	8,678	13,689
광양항	0	1,589	4,254	6,053	9,547
인천항	425	920	1,538	2,302	3,490
울산항	167	305	366	438	648
포항항	0	183	272	430	648
마산항	55	103	122	146	216
아산항	0	253	276	328	500
군장항	0	251	362	532	814
목포항	0	39	105	183	278
대산항	0	86	110	140	228
전국	5,482	9,873	13,955	19,230	30,058

자료) 가덕도 신항만 개발계획 보고서, 해운항만청(해운산업연구원)

이 추정치는 1994년 물동량에 비해 1996년에는 1.4배, 2001년에는 2.6배, 2006년에는 3.6배, 2011년에는 5.0배, 2020년에는 7.0배로 증가하게 되어 이를 처리할 수 있는 컨테이너 전용 터미널들이 장기적으로 계획되어 설치되어야 할 것이다.

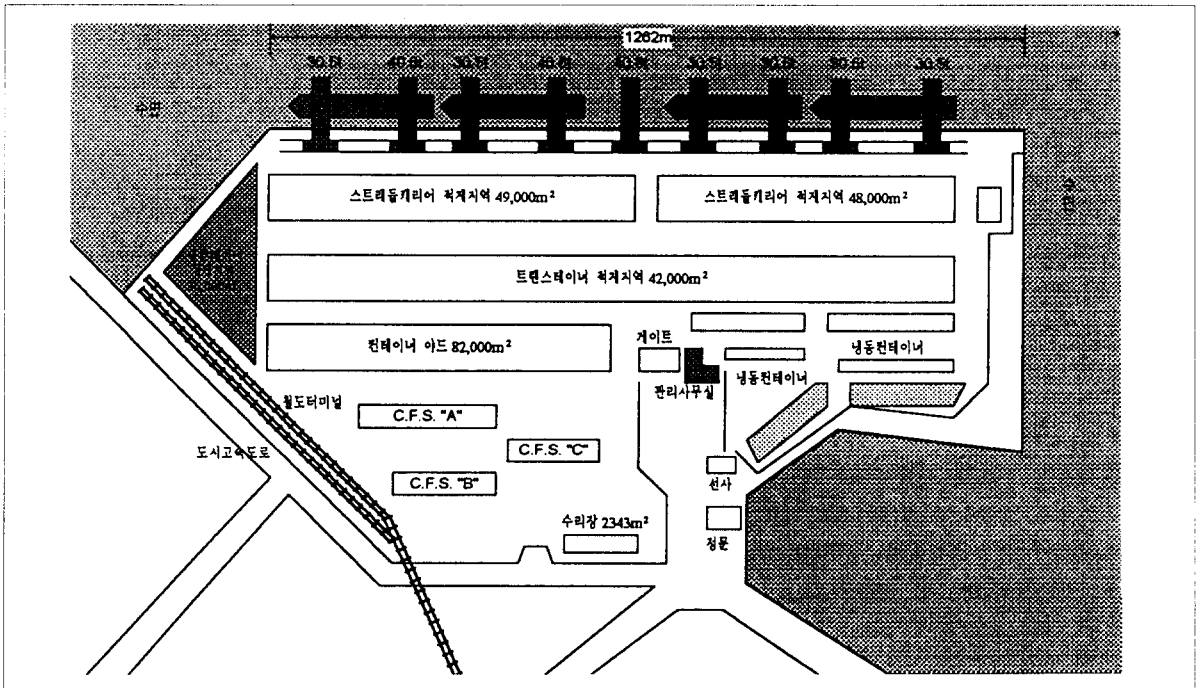
항별 컨테이너 물동량은 부산항과 광양항의 기존에 수립되어 추진중인 계획을 고려하고 기타 지역별 중심 항만의 발전 전망을 고려하여 각 항별로 배분된 것이다. 부산항은 1996년에 4,835천TEU, 2001년에 6,124천TEU, 2006년에 6,550천 TEU, 2011년에 8,678천 TEU의 물동량이 배정되었으며, 광양항은 2001년에 1,589천 TEU, 2006년에 4,254천 TEU, 2011년에는 6,053천 TEU, 2020년에는 9,547천 TEU의 물동량이 배정되었다. 인천항에도 꾸준히 물동량이 증가될 것으로 보아 많은 양이 배정되었으며, 울산, 마산, 포항, 아산항, 군장항, 목포항, 대산항 등에도 2000년대 이후에는 연안 화물을 중심으로 상당히 처리될 것으로 전망하고 있다.

### 3. 컨테이너 터미널 시스템과 시스템의 시물레이션 모델링

#### 3.1 컨테이너 터미널 시스템 개요

컨테이너 터미널 시스템은 크게 선박이 접안하는 안벽과 그 위에 설치된 컨테이너 크레인, 컨테이너를 적재할 수 있는 Container Yard (CY)와 CY상에서 컨테이너를 처리하는 하역장비, 안벽과 CY사이에서 컨테이너의 이송을 담당하는 야드 트랙터로 이루어져 있다. 이 외에도 컨테이너에 화물을 적입·적출하기위한 CFS(Container Freight Station), 장비수리소, 외부로 컨테이너 유출입이 이루어지는 게이트 등이 있다. <그림 1>은 부산항 최초의 컨테이너 터미널인 BCTOC를 나타낸 것이다.

<그림 2>는 컨테이너 터미널의 컨테이너 흐름도를 나타낸 것이다. 수입의 경우 한척의 선박이 안벽에 접안하면 보통 2대의 갠트리 크레인(혹은 컨테이너 크레인)이 할당되어 컨테이너를 하역하게 된다. 컨테이너 크레인에 의



<그림 1> BCTOC 컨테이너 터미널 조감도

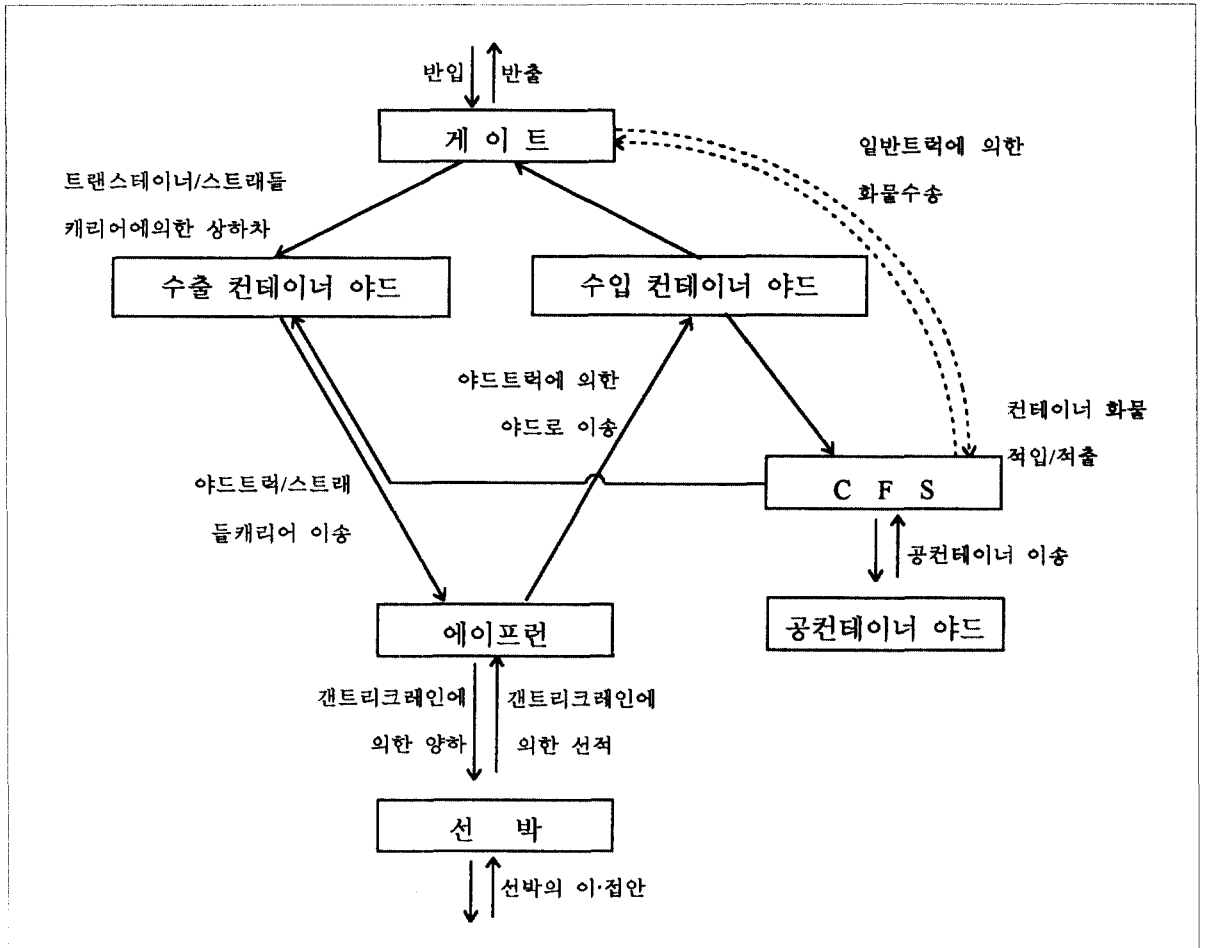
해 하역된 컨테이너는 야드트랙터에 실려 수입컨테이너 야드로 이송되어 트랜스테이너를 사용하여 적재된다.

장치기간이 지나 필요한 시기에 운송회사의 트랙터/트레일러에 상차되어 화주 또는 외부 CY로 반출된다. 일부 LCL 컨테이너 CFS(Container Freight Station)으로 이동하여 CFS에서 화물의 적출(Destuffing)작업이 이루어지고 공컨테이너는 공컨테이너 야드에 적재되고 화물은 일반트럭에 실려 화주에게 운송된다. 수출의 경우는 수입컨테이너와 정반대의 과정을 따른다.

템, CY에서 적재시스템, 게이트에서의 반입, 반출 시스템의 하위 시스템으로 나누어 볼 수 있다.

컨테이너 처리능력의 관점에서 볼 때 각 하위시스템의 능력에서의 병목공정(Bottleneck)의 처리능력이 전체 터미널의 처리능력으로 간주할수 있다.

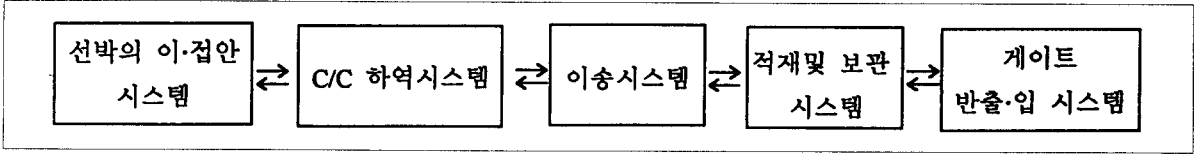
우리나라 특히 부산항의 컨테이너 터미널들은 CY에서의 장치기간이 대단히 짧다. 이는 대부분의 컨테이너가 Off-Dock CY (ODCY)를 거쳐서 통관이 이루어지고 터미널은 단지 일시적인 장치가 이루어지는 마샬링 기능위주



〈그림 2〉 컨테이너 터미널의 컨테이너 흐름도 (BCTOC)

따라서 컨테이너 터미널은 선박의 이·접안 시스템, 에이프런에서의 하역시스템, 에이프런과 CY간의 이송시스

로 사용되고 있기 때문이다. BCTOC나 PECT 모두 게이트 반출이 시스템과 야드 이송 시스템은 충분한 장비와

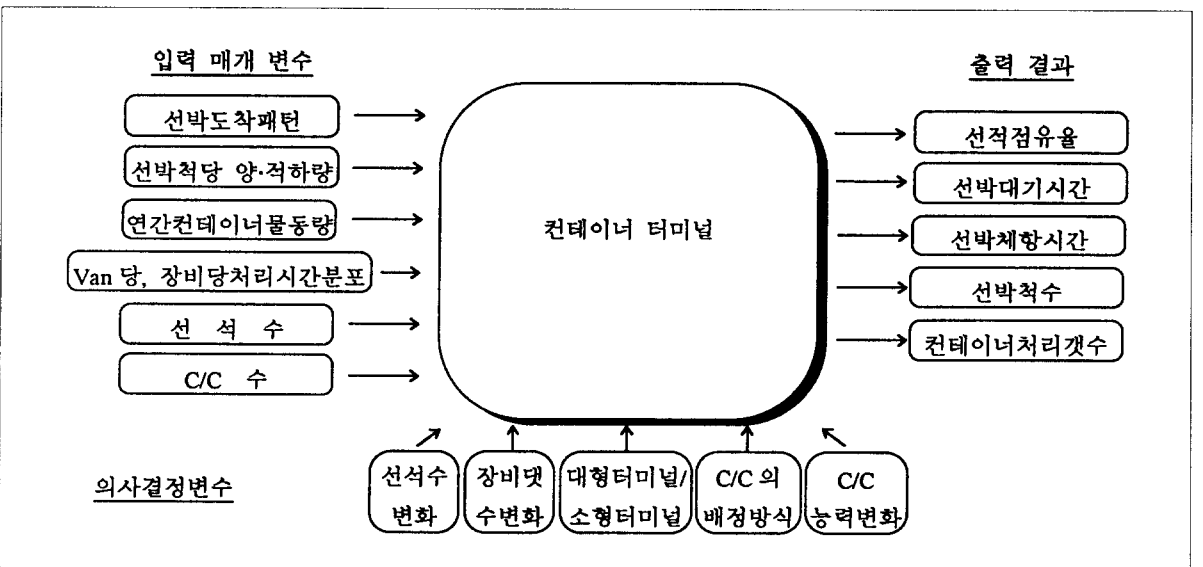


〈그림 3〉 컨테이너 터미널의 하위 시스템

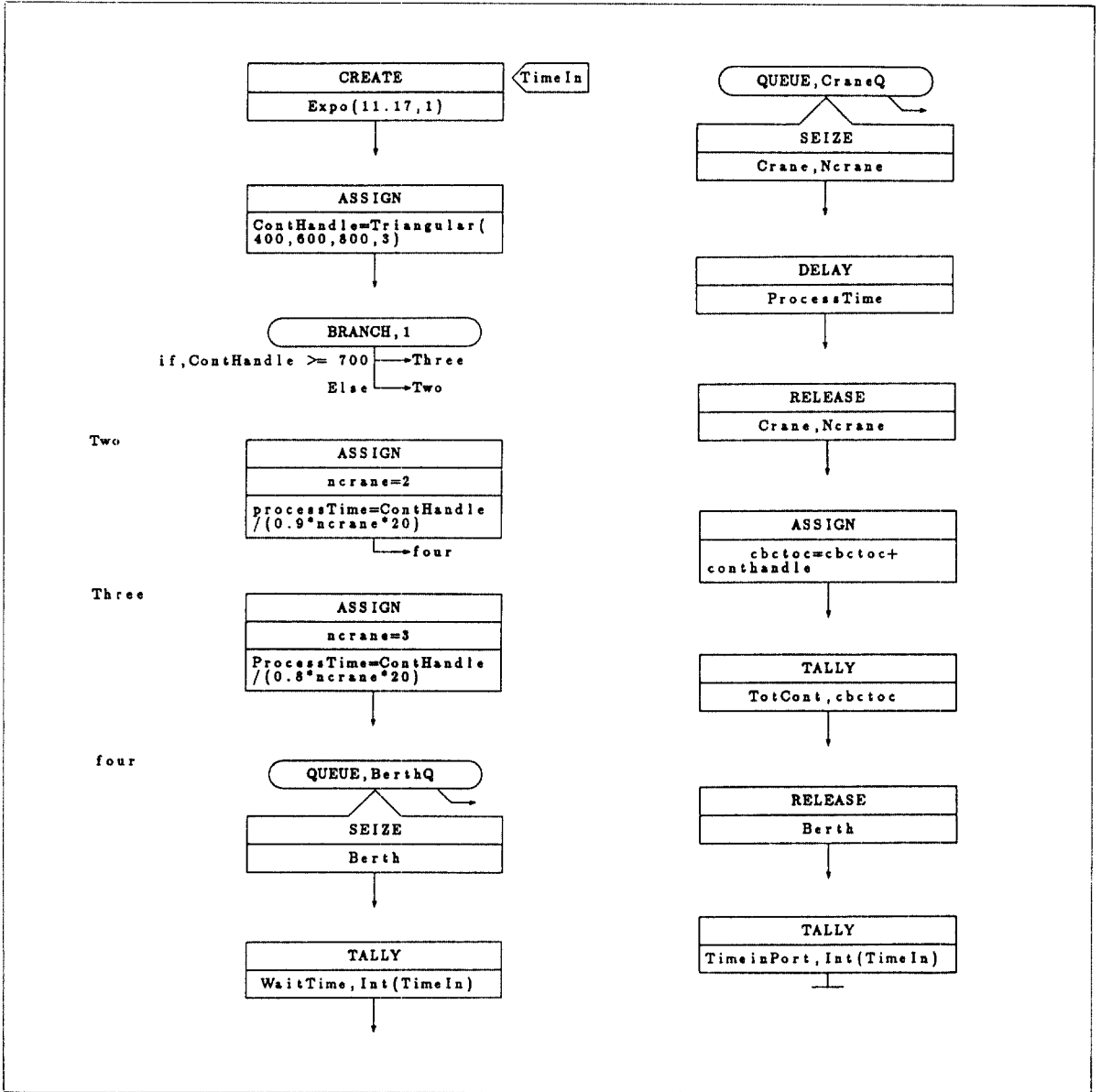
인력이 확보되어 있어 전체 능력상의 병목공정으로 볼 수 없다. 그러나 BCTOC의 경우 야드 적재 및 보관 시스템이 병목공정으로 인식되고 있으나 PECT는 야드 면적이 충분히 넓기 때문에 처리능력이 충분한 것으로 판단된다. 부산항의 경우 부산항 컨테이너 터미널과 ODCY간의 시내 도로교통 시스템이 열악하여 교통혼잡이 심각하여 직반출시 하역 지연이 수시로 발생하고, 야드에서의 비효율적인 적재 작업이 많으며, 통관기간이 비교적 장시간 요구되기 때문에 시간당 생산성 및 보관 능력이 홍콩, 싱가포르, 대만 등의 경쟁 대상국에 비해 낮은 편이다. 부산항 BCTOC 야드에서의 작업효율이 낮은 것은 야드 면적의 부족에 기인한 것이라기보다는 이선적의 과다 비합리적인 컨테이너 적재방식에 기인하고 있어 적합한 경영과학 기법을 활용하고 서류 간소화 및 통관 업무의 EDI시스템을

적용하게 되면 통관 기간이 단축되고 적재 및 보관 시스템의 효율이 향상될 것으로 기대된다.[1][2]

본 연구는 개별 컨테이너 터미널의 효율적인 운영을 지원하는 시물레이션 모형에 주안점을 두는 것이 아니라 중장기적인 컨테이너 전용 터미널들의 처리 능력을 산정하여 컨테이너 터미널 개발정책을 지원하는 시물레이션 모형의 개발이 주된 목적이다. 따라서 이송시스템, 적재시스템, 게이트 반출·입 시스템은 지금 연구가 진행중인 합리적인 적재위치결정 기법들이 적용되고 통관기간 단축이 예상되어 적재 시스템의 능력이 개선된다는 전제하에서 선박의 이·접안, C/C 하역시스템에 비해 처리능력상 충분한 여유를 갖게 될 것이다. 그러므로 본 연구의 목적을 위해 컨테이너 처리능력을 결정하는데 있어서 결정적인 하위시스템은 선박 이·접안 시스템과 C/C 하역시스템으



〈그림 4〉 컨테이너 터미널 시스템 입출력 관계도



〈그림 5〉 컨테이너 터미널 시스템의 SIMAN 모델

로 간주하였다.

### 3.2 컨테이너 터미널 시스템 모델링

본 연구에서는 컨테이너 터미널의 처리능력을 산출하기

위해 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 앞서 설명한 것처럼 컨테이너 터미널의 처리능력은 선박의 이·접안과 C/C 하역 시스템에 의해 결정되므로 이 2개의 하위 시스템만을 고려하여 모델링 하였다. 먼저 컨테이너 터미널 시스템의

처리 능력에 영향을 주는 요인들과 수행도와의 관계를 <그림 4>에 제시하였다.

일반적으로 컨테이너 터미널의 성능을 평가하기 위한 컨테이너 터미널 시스템의 입력 매개 변수로 선박의 도착 패턴, 선박 척당 양적하량, 연간 컨테이너 물동량, Van당 장비당 처리시간 분포, 선석수 그리고 C/C의 수를 들 수 있으며, 출력 결과로는 선석 혹은 부두 점유율, 선박 대기 시간, 선박 체항 시간, 처리 선박 척수, 컨테이너 처리 갯수를 들 수 있다. 의사결정 변수로는 선석수의 변화, 장비 갯수 변화, 소형 터미널 및 대형 터미널 여부, C/C 배정 방식, C/C 단위 시간당 처리 능력의 변화등을 들 수 있다.

본 연구는 터미널의 적정한 수준의 연간 처리능력을 추정하는 것이 목적이기 때문에 연간 컨테이너 물동량을 의사 결정 변수로 하여 터미널 규모에 따라 5만 혹은 10만 TEU씩 변화시켜 가면서 주어진 입력 요소를 사용하여 시물레이션 함으로써 부두 점유율, 선박 체항 시간, 선박 대기시간 및 선박 척수를 수집하였다. 선박의 도착시간 분포는 선행연구에서 제시한 지수 분포를 사용하였으며, 선박 척당 양적하량은 부산 BCTOC의 자료를 토대로 분석한 선행 연구에 의하면 평균 600, 표준 편차 200로 근사하나 정규분포의 특성상 음수값이 발생할 가능성이 있기 때문에 삼각분포로 변환하여 사용하였다. C/C당 Van당 처리시간은 시간당 20개를 표준으로 하고 선박당 2대의 컨테이너가 동시에 작업하는 경우에는 효율이 90%, 3대가 작업하는 경우에는 효율이 80%가 사용되었다. 대형 터미널에서는 선박당 양적하량이 700개 이상인 경우에는 3대의 C/C가 사용되고 보통의 경우에는 2대가 사용된다. 부산항을 통과하는 컨테이너는 Van당 평균 1.7TEU로 나타났다.[7][8]

적정 능력 산정을 위해서 성능 평가 척도로는 선박 대기시간이 전체 체항 시간 중에서 대기시간 비율이 10%를 넘지 않는 최대의 연간 컨테이너 처리량을 사용하였다. 이는 어느 정도의 대기 시간을 허용하면서 원활하게 하역 작업이 이루어질 수 있는 합리적인 수준을 10%로 간주하였다. UNCTAD에서는 지수 분포 혹은 일랑-2분포의 대기이론에 의한 적정 수준의 대기시간 비율은 점유율 60%에서 13%를 제시하였다.[19]

이 시스템의 시물레이션 모델링은 SIMAN IV를 이용하였다. <그림 5>는 대형의 전용터미널을 기준으로 한 SIMAN 시물레이션 모델링이다.

## 4. 컨테이너 터미널 처리능력 산정

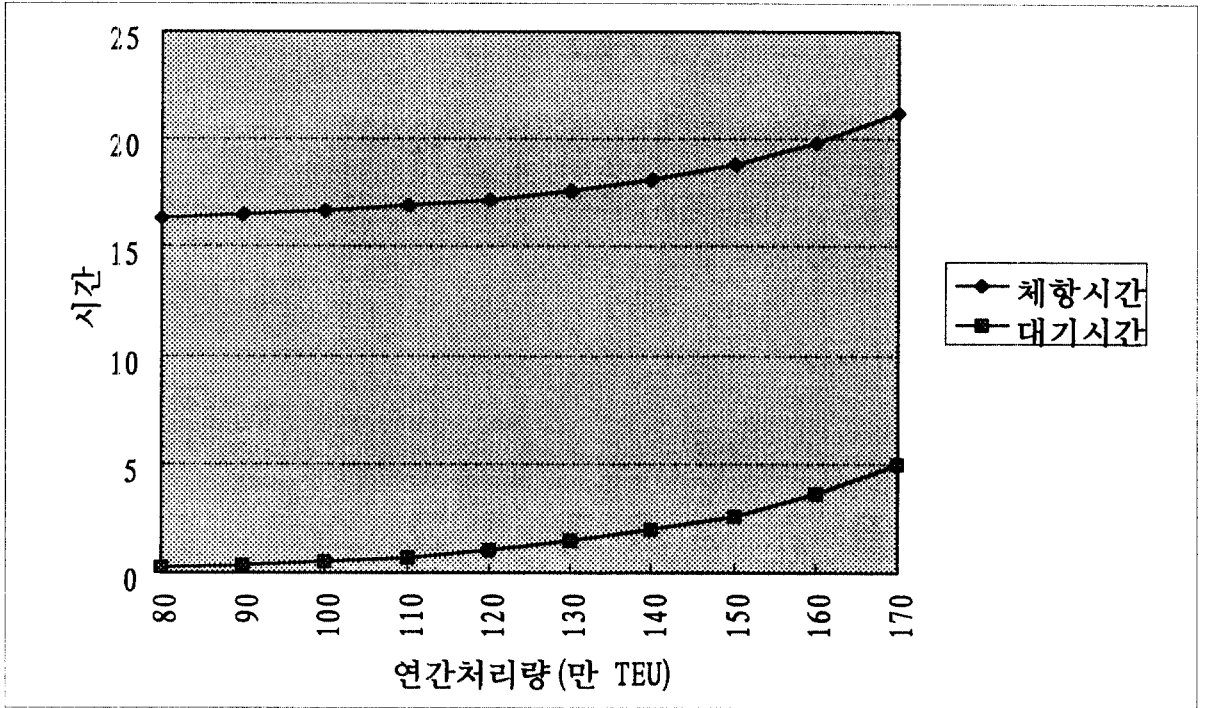
### 4.1. 현행 BCTOC 연간 처리능력

BCTOC는 선석 4개, C/C 이 9대인 대형의 컨테이너 터미널이다. BCTOC의 적정능력을 산출하기 위하여 C/C이 9, 10, 11대 인 경우에 대하여 연간처리량을 80만 TEU에

<표 4> BCTOC에 대한 연간 처리량별 시물레이션 결과

처리량 (만TEU)	선석수	C/C수	체항시간	대기시간	부두점유율
80	4	9	16.3	0.22	0.36
90	4	9	16.46	0.36	0.41
100	4	9	16.63	0.52	0.45
110	4	9	16.86	0.72	0.49
120	4	9	17.16	1	0.54
130	4	9	17.62	1.43	0.58
140	4	9	18.14	1.95	0.63
150	4	9	18.82	2.62	0.67
160	4	9	19.82	3.59	0.72
170	4	9	21.22	4.98	0.79
80	4	10	16.25	0.22	0.36
90	4	10	16.38	0.35	0.4
100	4	10	16.48	0.5	0.45
110	4	10	16.72	0.68	0.49
120	4	10	16.99	0.94	0.53
130	4	10	17.4	1.34	0.58
140	4	10	17.85	1.81	0.62
150	4	10	18.45	2.41	0.67
160	4	10	19.36	3.26	0.71
170	4	10	20.46	4.42	0.75
80	4	11	16.24	0.22	0.36
90	4	11	16.37	0.34	0.4
100	4	11	16.52	0.49	0.45
110	4	11	16.71	0.68	0.49
120	4	11	16.97	0.94	0.53
130	4	11	17.38	1.34	0.58
140	4	11	17.83	1.78	0.62
150	4	11	18.42	2.4	0.67
160	4	11	19.26	3.23	0.71
170	4	11	20.39	4.37	0.75





〈그림 6〉 컨테이너 처리량과 체항시간/대기시간의 관계

서 부터 170만 TEU까지 10만 TEU씩 증가시켜 가면서 앞의 시뮬레이션 모델을 이용하여 각각 10회씩 실험하여 얻은 수행도 평균치를 〈표 4〉에 제시하였다.

〈그림 6〉, 〈그림 7〉에는 C/C이 9대인 경우에 각각 컨테이너 연간처리량과 체항시간/대기시간, 부두점유율과의 관계를 그림으로 나타내었다. 시뮬레이션 결과를 살펴보면 연간처리능력이 130만 TEU를 기점으로 체항시간/대기시간, 부두점유율이 크게 증가하는 모습을 보여주고 있다. C/C이 9대일 때 연간처리 능력이 130만 TEU인 경우에는 체항시간이 17.62시간, 대기시간이 1.43시간에서 140만 TEU인 경우에는 체항시간이 18.14시간, 대기시간이 1.95시간으로 증가한다. 체항시간중에서 대기시간 비율이 처리능력 140만 TEU일 때에는 10%를 넘게 된다. 따라서 약간의 체선을 허용하면서도 큰 무리없이 하역작업이 가능한 BCTOC의 연간 컨테이너 처리능력은 130만 TEU로 결정하였다. 이때의 부두의 평균 점유율은 58%이다.

장비를 증가한 경우의 수행도 변화를 보기 위해 C/C를 10, 11대인 경우로 증가시킨 결과 C/C가 11대인 경우에는

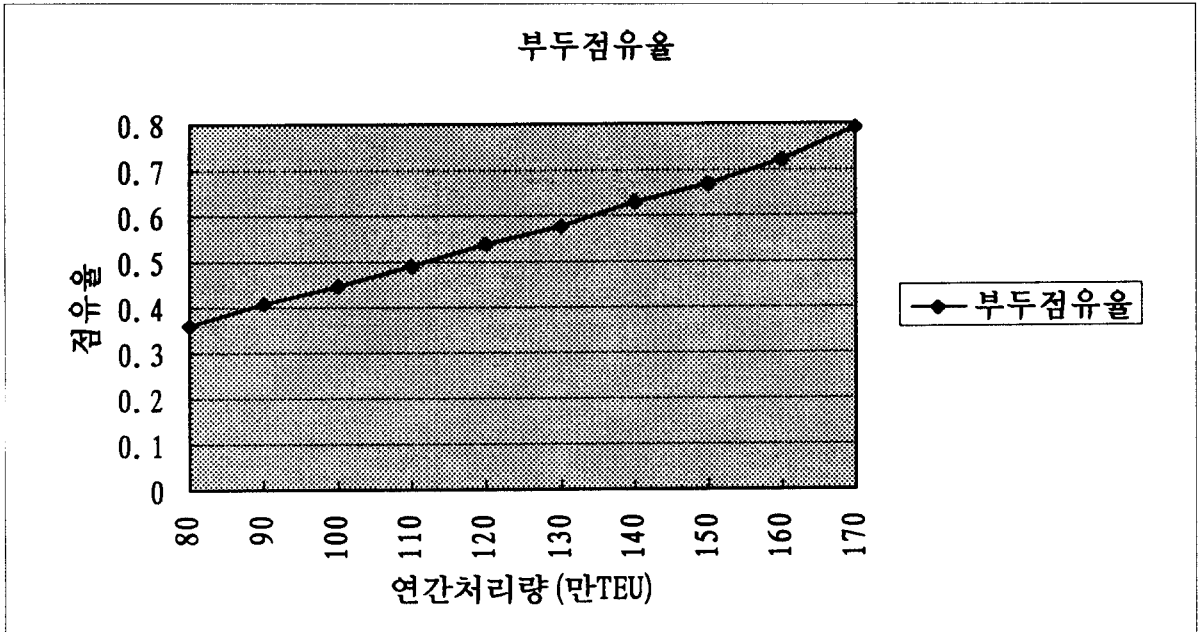
연간 처리 능력이 140만 TEU로 증가됨을 보이고 있다.

#### 4.2 PECT의 컨테이너 처리능력 산정

현재 부산항에는 BCTOC 이외에 PECT라는 신선대 부두에 전용의 컨테이너 터미널이 있다. 신선대부두는 3개 선석에 6대의 C/C이 설치되어 운영중이다. 기타 다른 터미널 여건이나, C/C 할당 정책은 동일한 것을 전제로 해서 시뮬레이션 하여 〈표 5〉에 제시하였다.

이 시뮬레이션 결과를 살펴보면 C/C이 6대일 때 80만 TEU에서 90만 TEU로 증가할 때 대기시간이 1.7시간에서 2.76시간으로 BCTOC의 경우와 같이 대기시간이 현저히 증가하고 있다.

체항시간 중에서 차지하는 비율이 10%를 넘지 않는 연간 처리량은 80만 TEU이다. 따라서 80만 TEU를 PECT의 적정 연간처리량으로 볼 수 있으며 이때 부두점유율은 51%이다. C/C이 8대로 2대 증가할 경우에는 연간 처리 능력이 90만 TEU로 증가함을 보여주고 있다.



〈그림 7〉 컨테이너 처리량과 부두점유율과의 관계

#### 4.3 기타 전용 컨테이너 터미널의 적정 능력 산정

현재는 2개 선석으로 된 전용터미널이 국내에 존재하지 않으나, 부산 감천항에 2선석으로 된 한진부두가 전용부두로 재개발 계획중이며 현재 건설중인 부산항 4단계 부두나 광양항등을 2개 선석으로 나누어 선사에게 임대 운영하는 것으로 계획되어 있다. 따라서 2선석-4 C/C 의 경우를 기본으로 하고 장비를 2대까지 증가시켜가면서 시물레이션을 통하여 적정능력을 추정하기로 한다.

〈표 6〉은 2개 선석으로 전용터미널에 대하여 시물레이션한 결과이다.

2선석 터미널은 총 4대의 C/C를 기준으로 했을때는 35만 TEU가 적정 처리능력인 것으로 볼 수 있다. 이 경우 C/C를 한대 늘린 경우에는 연간 적정 처리 능력은 40만 TEU, 2대를 늘려 총 6대의 C/C인 경우에는 45만 TEU 로 판단되었다.

#### 4.4 컨테이너 소형선 부두의 적정 능력 산정

부산항에는 현재 일반부두에서 일반화물과 컨테이너가

함께 하역되고 있어 항만 관리 운영에 많은 문제점이 노출 되고 있다. 정부는 장기적으로 부산항 일반부두 상당부분을 재개발함으로써 컨테이너 전용 소형선부두로 활용할 계획이다. 따라서 부산항에 드나드는 소형컨테이너선들에 대한 표준적인 자료를 〈표 7〉에 정리하여 제시하였다.[9]

〈표 7〉의 자료를 토대로 컨테이너 소형선 부두에 대하여 표준적으로 2선석, 4대의 C/C를 상정하였을 때 시물레이션을 실행한 결과를 〈표 8〉에 제시하였다. 재래부두는 배후야드가 넓지 않기 때문에 재개발을 한다해도 기존의 재래부두의 선석수만큼 그대로 사용할 수 없다. 따라서 2선석에 4대의 C/C이 표준적인 소형선부두로 판단되었다.

시물레이션 결과 어느정도의 대기시간을 허용하면서 전체 체항기간 중에서 대기시간 비율이 10%를 넘지 않는 적정능력은 연간 15만 TEU로 판정되었다.

### 5. 부산항 컨테이너 시설 과부족 판단

현재 부산항의 컨테이너 시설과 계획되어 추진중인 시설에 대하여 현재능력을 산정하고 물동량과 대비해 과부

〈표 5〉 PECT에 대한 연간 처리량별 시물레이션 결과

처리량 (만TEU)	선석수	C/C수	체항시간	대기시간	부두점유율
50	3	6	16.78	0.35	0.31
60	3	6	17.28	0.68	0.38
70	3	6	17.87	1.1	0.44
80	3	6	18.68	1.7	0.51
90	3	6	19.95	2.76	0.58
100	3	6	25.48	7.34	0.72
50	3	7	16.37	0.3	0.3
60	3	7	16.61	0.52	0.36
70	3	7	16.91	0.82	0.42
80	3	7	17.31	1.2	0.48
90	3	7	17.91	1.77	0.53
100	3	7	18.68	2.53	0.6
110	3	7	19.76	3.58	0.66
50	3	8	16.32	0.29	0.3
60	3	8	16.54	0.51	0.36
70	3	8	16.81	0.79	0.42
80	3	8	17.18	1.16	0.48
90	3	8	17.73	1.7	0.54
100	3	8	18.44	2.41	0.6
110	3	8	19.41	3.37	0.65

족을 판단하기로 한다. 4장에서 산정한 적정능력을 토대로 했을 때 현재 컨테이너 처리능력은 BCTOC 130만, PECT 80만 TEU로 합계210만 TEU이다.

〈표 9〉는 부산항에 이미 건설되어 운영중이거나 건설 중 또는 계획중인 컨테이너 전용시설들의 능력을 판단한 것이다. 〈표 10〉은 부산항에 대한 해운산업연구원의 컨테이너 물동량 예측치와 본 연구에서 제안된 모델의 실행 결과 구해진 부산항 전용 컨테이너 처리 시설들의 연도별 컨테이너 처리능력을 대비하여 과부족을 판단한 결과이다.

부산항은 단기적으로 200만 TEU 이상의 컨테이너 처리 능력부족을 보이고 있다. 1996년에는 273.5만 TEU, 1997에는 234.3만 TEU, 1998년에는 215.1 만 TEU의 시설능력의 부족이 예상된다. 1999년 이후에는 부산항 4단계 컨테이너 터미널의 완공으로 약간의 개선이 예상되고는 있으나 컨테이너 물동량이 꾸준히 증가하게 되어 컨테이너 처리 능력이 여전히 크게 부족할 것으로 보인다.

〈표 6〉 2개 선석 전용부두에 대한 연간 처리량별 시물레이션 결과

처리량 (만TEU)	선석수	C/C수	체항시간	대기시간	부두점유율
25	2	4	17.46	0.6	0.24
30	2	4	17.88	0.92	0.29
35	2	4	18.49	1.33	0.34
40	2	4	19.27	1.95	0.39
30	2	5	16.79	0.66	0.28
35	2	5	17.02	0.92	0.32
40	2	5	17.38	1.27	0.36
45	2	5	17.79	1.68	0.41
50	2	5	18.31	2.21	0.45
35	2	6	16.95	0.91	0.32
40	2	6	17.28	1.24	0.36
45	2	6	17.67	1.64	0.41
50	2	6	18.15	2.13	0.45
55	2	6	18.71	2.69	0.5
60	2	6	19.5	3.48	0.54

〈표 7〉 소형선 컨테이너 및 소형선 부두에 대한 자료

구 분	비 고
선박당 컨테이너 양적하량	Triangular(94, 150, 220 Van)
C/C Van당 처리시간	5 분
장비간섭효과에 의한 지연율	
1대인 경우	10%
2대인 경우	20%
C/C 할당정책	
양적하량 150 Van 미만	1대
양적하량 150 Van 이상	2대

자료: BCTOC, 해운항만청

현재에도 컨테이너 전용시설의 부족분은 처리 효율이 낮은 일반 화물부두에서 재래적인 방법으로 하역되고 있어 앞으로 선박체선현상은 지금보다 더 크게 심각해질 것으로 전망된다.

〈표 8〉 소형선 컨테이너 부두에 대한 연간 처리량별 시물레이션 결과

처리량 (만TEU)	선석수	C/C수	체항시간	대기시간	부두점유율
10	2	4	10.7	0.31	0.23
15	2	4	11.17	0.78	0.35
20	2	4	11.89	1.5	0.47
25	2	4	13.09	2.69	0.58
30	2	4	15.16	4.79	0.69

〈표 9〉 부산항 컨테이너 시설처리능력

시 설 명	시 설 제 원	연간처리능력 (만TEU)	비고
BCTOC	4 선석, C/C 8대	130	1983년 완공
PECT	3 선석, C/C 6대	80	1991년 완공
〃	1 선석 증설	(130)	1997년 가동
감천한전부두	2 선석, C/C 4대	45	건설계획중 (1998년 가동예상)
제8부두	2 선석, C/C 4대	15	소형선 부두 (1996년 가동)
부산항 제4단계 부두	4 선석, C/C 8대 (공용운영)	130	1998년 완공
	2개 터미널로 분할운영시	90 (= 45*2)	
제7부두	2 선석, C/C 4대	15	계획중 (1999년 가동예상)
4단계 소형선 부두	2 선석, C/C 4대	15	2001년 가동

자료) 해운항만청, 해운산업연구원

6. 결론

본 논문에서는 우리나라 항만 컨테이너 물동량의 증가에 따라 이의 중요성을 감안하여 컨테이너 전용 터미널의 적정 처리능력을 산출하기 위해 시물레이션 모형을 개발하였다. 컨테이너 터미널 시스템을 분석하였으며 그 중에서 선박 이·점안 시스템과 컨테이너 크레인 하역시스템이 본 연구 목적상 터미널 능력 결정에 결정적인 하위시

〈표 10〉 부산항의 연도별 처리능력과 물동량 비교

연 도	물동량 (만TEU) A	처리능력 (만TEU) B	과부족 C=A-B
1996	483.5	210	273.5
1997	509.3	275	234.3
1998	535.1	320	215.1
1999	560.9	410(450)	150.9 (110.9)
2000	586.7	425(465)	161.7 (121.7)
2001	612.4	440 (480)	157.4 (132.4)

주 : 1. ( ) 는 부산항 4단계 터미널을 공용으로 운영할 경우의 능력이 포함됨  
 2. 물동량은 해운산업연구원 예측치를 토대로 선형보간법으로 구한것임

시스템을 고려하여 위 두 하위 시스템이 고려된 시물레이션 모형을 개발하였다.

시물레이션 모형에는 SIMAN이라는 시물레이션 패키지를 사용하였다. 컨테이너 터미널의 규모와 특성에 따라 연간 적정 처리능력판정을 위해 연간 양적하량을 변화시켜가면서 각 대안별시물레이션을 10회씩 수행하여 체항시간, 대기기간, 부두점유율 등을 산출하였다.

적정 능력은 체항시간중에서 대기시간의 비율이 10%가 넘지 않은 최대의 양적하량으로 하였다. 이는 최소한의 체선을 허용하면서도 비교적 원활하게 처리할 수 있는 최대의 능력이다.

시물레이션 기법을 통해 결정된 컨테이너 터미널의 적정능력을 토대로 예상 컨테이너 물동량에 비해서 부산항의 중·단기적 시설능력이 크게 부족한 것으로 판단된다. 이를 대처하기위한 몇가지 대안을 제시하고자 한다.

〈단기적 방안〉

- ① 현재 부산 시민들의 항의로 건설작업이 지연되고 있는 부산항신대 부두 확장공사를 조속히 마무리해야 한다(50만TEU 만큼의 능력 증가).
- ② 부산항 4단계 컨테이너 터미널이 중단없이 완공되도록 하여야 한다.
- ③ 7부두(석탄고철부두)를 조속히 컨테이너 소형선 부두로 시급히 재개발해야 한다.
- ④ 3, 4부두를 컨테이너 소형선 부두로 재개발을 함으로써 50~60 만 TEU 이상 처리능력을 증대시킬 수 있다.

- ⑤ 감천항 한진부두의 전용터미널화를 지원해야 한다.
- ⑥ 부산항 4단계 운영을 공용화함으로써 처리능력의 증대를 꾀해야 한다. 공용 터미널로 운영시 2개의 터미널로 운영하는 경우보다 50만 TEU의 처리능력이 증가한다.

2001년이후의 컨테이너 시설계획은 현재 없다. 그러나 컨테이너 전용시설의 건설기간이 5년이상 인점을 감안하여 장기적인 계획을 수립해 나가야 한다. 정부는 부산 가덕도에 대규모 컨테이너 항만을 민자를 유치하여 건설하려는 계획을 수립중에 있다. 우리나라 항만의 컨테이너 처리 시설을 지속적으로 확충하기 위한 중장기적인 대안을 제시하기로 한다.

〈중·장기적 대안〉

- ① 현재 진행되고 있는 광양항의 1단계 개발을 조속히 완료하고 원래의 계획대로 2, 3단계 실시계획을 실행해야 한다.
- ② 울산, 마산, 군장, 목포 등 중소항만에 소형컨테이너 시설 건설을 위한 종합적이고 장기적인 개발계획을 시급히 수립해야 한다.
- ③ 부산 내항의 지리적 한계를 감안하여 장기적으로 가덕도와 같은 위치에 대단위 컨테이너 전용 항만의 건설을 조속히 수립해야 할 것이다.

본 연구에서는 현재 컨테이너 터미널 여건을 토대로 중장기적인 부산항의 컨테이너 터미널의 개괄적인 능력 산정을 위한 시뮬레이션 모형을 개발하였다. 그러나 추후에 개별 컨테이너 터미널에 대한 보다 상세한 분석을 통해 CY, CFS, 이송시스템 등을 고려한 시뮬레이션 모형이 개발된다면 보다 개선된 능력 산정을 할 수 있고, 이를 통한 컨테이너 새로운 컨테이너 터미널 개발 및 기존 컨테이너 터미널의 운영개선에 유익하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 김갑환 외 10인, “수출입 컨테이너 장치장 배정을 위한 소프트웨어의 개발”, 경영과학, 제 12권 제 3호, 1995.12, 1~10.
- [2] 김갑환, 박영만, “재취급을 최소화하기 위한 수출 컨테이너 장치 위치 결정법”, 대한산업공학회/한국경영

- 과학회 '96 춘계공동학술대회 논문집, 1996.4, 473-476.
- [3] 장성용, “컴퓨터 시뮬레이션”, 서울산업대학교 출판부, 1993.
- [4] 장성용 외 1인, “시뮬레이션 기법을 이용한 컨테이너 터미널의 운영시스템 결정” 산업공학, 1권 1호, 49~62.
- [5] 장영태, “우리나라 주요항의 선박 입출항 시간 분포에 관한연구”, 한국 해운학회지, 제 19권, 1994, 123 ~ 163.
- [6] 장영태, “Port Investment Planning Using a Computer Simulation Model”, 연세대학교 대학원 박사학위 논문, 1995.12.
- [7] 해운항만청, “부산항 4단계 개발계획 보고서”, 1993.
- [8] 해운항만청, “항만적정능력 산정 및 장기개발 구상”, 1993.
- [9] 해운항만청, “부산항 피더선 개발계획”, 1994.
- [10] 해운항만청, “해운항만 통계연보”, 1994.
- [11] 해운항만청, “부산항 가덕도 신항만 개발계획 보고서”, 1995.
- [12] Chang, Young-Tae, “Cost-Benefit Analysis in a Port Development Project Using a Simulation Program”, '92 Selected Proceedings of the Sixth World Conference on Transport Research, Lyon, V.2, 1435.
- [13] ESCAP, Manual of Port Simulation Model, Tokyo, 1987.
- [14] Hassan, said Ali, “Port Activity Simulation : An Overview”, Simulation Digest, V.23, No. 2., 17~36.
- [15] Hayuth, Y. et. al., “Building a Port Simulator”, Simulation, V.63, No.3, 1984, 179~189.
- [16] Institute of Shipping Economics and Logistics, Port Management Textbook Containerization (edited by H. L. Beth), Bremen, 1985.
- [17] Law, A. M. and D. W. Kelton, Simulation Modelling and Analysis, McGraw-Hill, 1991.
- [18] Park, S. and Y. Noh, “An Interactive Port Capacity Expansion Simulation Model”, Engineering Cost and Production Economics, Elsevier Science Pub., 1987, 109~124.
- [19] UNCTAD, Port Development, Geneva, 1985.
- [20] Wadha, L. et. al., “Modelling and Simulation of Port Operations”, Forum Papers, Australian Transport Research Forum, V.6, 1980, 395~410.

## ● 저자소개 ●

**장성용**

1980년 서울대학교 산업공학과 졸업

1982년 서울대학교 산업공학과 석사

1991년 서울대학교 산업공학과 박사

미국 University of Michigan 연구교수

한국해양연구소 연구원

해운산업연구원 연구원

현재 서울산업대학교 산업공학과 부교수

관심분야 : FMS, CIM, 시물레이션, 교통 및 물류 시스템