

異質的 複數서버를 갖는 混雜  
컨테이너터미널의 船舶關聯 時間分布 推定  
An Estimation on the Ship Related Time Distributions at a  
Busy Container Terminal with a Heterogeneous Multiserver

박 병 인\*  
Byung In Park

---

<목 차>

---

- I. 서 론
- II. 연구의 방법 및 범위
- III. 관련문헌 연구
- IV. 선박 입항분포의 추정
- V. 서비스 시간분포의 추정
- VI. 결론 및 추후연구과제

---

**Abstract :** This paper estimates statistical distributions of the ship related time data of BCTOC (Busan Container Terminal Operation Corporation). The paper presents that the distribution of the interarrival time between the ships is an exponential distribution. Meanwhile, it says that the system is a heterogeneous multiserver with different erlang service time: berth #52 the 6-Erlang, and berth #53, #61 & #62, the 5-Erlang respectively. The results of the estimation of related distributions can be used for building a queueing model and simulation model.

---

\* 한국해양수산개발원 책임연구원

## I. 서 론

우리 나라 컨테이너 화물 전용터미널의 역사는 1978년 부산항 제5부두에 현재의 釜山港 子城臺埠頭(BCTOC : Busan Container Terminal Operation Corporation)가 개장되면서부터 시작되었으며, 컨테이너 전용터미널의 등장으로 일반화물선에 비해 고가화물을 주로 운송하는 컨테이너 화물처리 방식에 일대 전기를 맞게 되었다. 하지만 국내 컨테이너 터미널은 1991년 6월에 부산항 神仙臺埠頭(PECT : Pusan East Container Terminal)의 3개 선석이 개장·운영 될 때까지의 오랜 기간동안 자성대부두와 일반재래부두에서만 컨테이너 화물이 처리되던 컨테이너 터미널 개발의 제1세대를 이루었다.

그러나 같은 시기에 선진 외국의 경우는 컨테이너 터미널의 운영에 있어 중앙정부나 지방정부보다는 주로 지방항만청(Port Authority)에 의해 항만에 대한 개발·투자·관리가 독립적으로 이루어져 왔다. 뿐만 아니라 각지방항만들 간에도 경쟁관계에 있기 때문에 단순한 터미널 운영상의 체선률 절감이라는 소극적 동기에서의 터미널 개발·운영이 아니라, 서비스 수준을 제고함으로써 얻는 고객만족을 통한 수요증대라는 적극적인 마케팅사고에 따른 터미널의 개발·운영이 이루어지고 있는 실정이다.

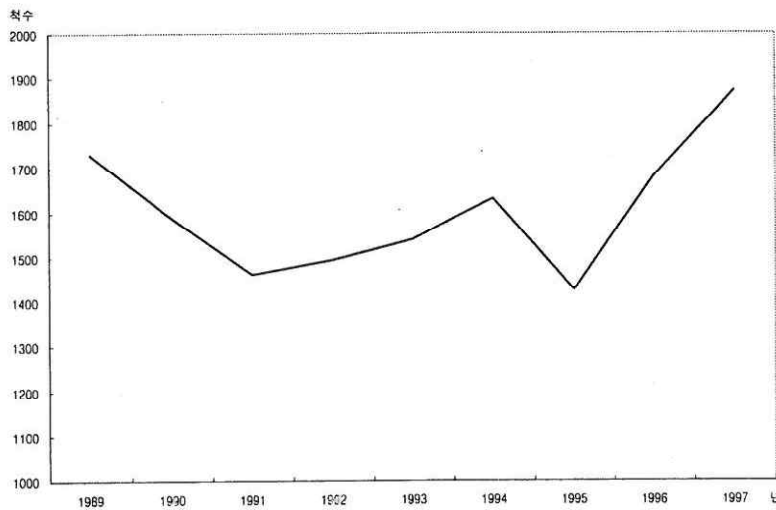
따라서 개발방식이나 재원조달 등의 여러 가지 문제로 아직 購買者市場(buyer's market)이 아닌 販賣者市場(seller's market)수준에 불과해 마케팅사고(marketing philosophy)의 이전 단계에 머무르고 있는 우리 나라 컨테이너 터미널의 서비스 수준을 수리적인 방법을 이용해 평가해 보는 것이 추후 개발을 위한 지침이 될 수 있을 것이다. 물론 건설 완료후 서비스 개시를 준비 중인 광양항 1단계의 1개 선석을 비롯한 광양항 2단계, 부산항 4단계, 및 부산 가덕신항 등 많은 컨테이너 터미널이 계획 및 추진 중에 있어, 이러한 계획 및 추진중인 컨테이너 터미널이 완료되는 시점에서는 체선 등이 상당히 줄어들게 되어 서비스 수준이 좀 더 향상될 것으로 기대할 수 있다.

그러나 추가적인 시스템의 확충 외에 혼잡도가 가장 심했던 시스템상태에 대한 정확한 진단을 통한 시스템의 효율성 제고도 의의가 클 것이라 판단된다. 따라서 본 연구에서는 국가적인 해운·항만 물류시스템에 대한 합리화 노력의 일환으로 컨테이너 터미널에 향후 시뮬레이션과 대기행렬모형을 적용·분석하기 위해, 우선 실제로 混雜한 컨테이너 터미널의 시간 관련 統計的 分布를 정확히 推定해 보고자 한다.

## II. 연구의 방법 및 범위

본 연구의 목적을 위해서는 사실 부산항 자성대부두와 신선대부두를 포함한 국내 전체 컨테이너 터미널의 수년에 걸친 관련자료를 분석해야 할 것이나, 자료 입수상의 곤란과 전술한 대로 크게 혼잡했던 시스템의 정확한 분석을 통한 효율성 개선이라는 목적을 위해 특히 滯船이 심했던 1989년 BCTOC의 경우를 분석하였다.

〈그림 1〉 연도별 컨테이너선 처리 실적



자료: BCTOC.

〈그림 1〉에서 알 수 있듯이 1989년은 BCTOC가 1730척의 선박을 처리해 그 이전은 물론 자료입수가 어려웠던 1997년을 제외할 때 가장 많은 선박을 처리했던 시기로, 본 논문에서 분석하고자 하는 혼잡한 컨테이너 터미널의 요건을 충족하는 것으로 볼 수 있어 여기서는 1989년 데이터만을 사용하였다.

### III. 관련문헌 연구

Bux 등<sup>1)</sup>은 분포함수가 가상적인 여러 단계(phases)로 이루어진 모델을 추정하는데 유용한 Coxian분포를 대기행렬모형 등에 적용하는 방법에 대해 설명하고 있다. Grassman 등<sup>2)</sup>은 이질적인 서버와 일반분포 형태의 투입요소를 갖는 대기행렬시스템을 분석하고 시스템에 대한 안정상태 확률을 얻는 방법을 제시하였다.

또한 Mettam 등<sup>3)</sup>은 항만의 계획과 설계에 있어 대기행렬의 해석학적 분석의 적용문제에 대한 연구를 수행하였다. 이 논문에서는 항만의 계획과 설계에 있어 선박이 선석에 접안대기할 가능성을 실제로 추정하기 위해 대기행렬 이론이 어떻게 적용될 수 있는가를 제시하고 있다.

Gleave<sup>4)</sup>는 대기행렬모형과 수송상의 기종점, 육상과 해상에서의 단위 수송 비용 및 항만비용 등의 자료를 이용해 각 항만에서의 수송량과 총시스템비용을 추정하는 연구를 수행하였다. Sen<sup>5)</sup>은 대기행렬 시스템에서 최적 서비스 수준 달성을 위한 서비스의 우선권문제에 대해 포아송 도착과 서비스(M/M/1)를 갖는 단일서버 시스템을 대상으로 분석하였다.

Wanhill<sup>6)</sup>은 대기행렬을 통해 선석건설비용과 선박시간비용의 최소화모형에 따른 최적항만개발규모를 추정하는 연구를 수행하였다. Katayama<sup>7)</sup>는 단일서버 다계층 서비스 대기행렬 시스템(single-server multi-class service queueing

- 
- 1) Bux, W. & U. Herzog, "The Phase Concept: Approximation of Measured Data and Performance Analysis," *Computer Performance*, Chandy, K. M. & M. Reiser(eds.), North Holland Publishing Company, 1977.
  - 2) Grassman, W. K. & Y. Q. Zhao, "Heterogeneous Multiserver Queues with General Input," *INFOR*, 35, 1996, 208-224.
  - 3) Mettam, J. D. & M. Cons, "Forecasting delays to ships in port," *The Dock and Harbour Authority*, 1967, 389-82
  - 4) Gleave, G. R. "A Port Traffic Allocation Model," *The Dock & Harbor Authority*, Vol. 61, No. 725, 1981, 274-376.
  - 5) Sen, P., "Optimal Priority Assignment in Queues: Application to Marine Congestion Problems," *Maritime Policy and Management*, Vol. 7, No.5, 1980, 175-184
  - 6) Wanhill, S. R. C., "A Study in Port Planning: The Example of Mina Zayed," *Maritime Studies and Management*, 2, 1974, 48-55.
  - 7) Katayama, T., "A Note on Conservation Laws for a Multi-class Service Queueing System with Setup Times," *Queueing Systems*, 11, 1992, 299-306.



system:  $M^x/G/1$  type queue)에서의 평균대기 시간에 대한 공식을 제시하고 있다.

Mahendran<sup>8)</sup>은 컨테이너 터미널의 화물처리 능력을 추정하기 위해 대기행렬 모형을 통한 G-Gert시뮬레이션을 수행하였다. 여기서는 컨테이너 터미널이 항만작업을 끝낸 선박들로부터 항만의 배후지까지의 컨테이너 흐름으로 구성되는 직렬대기행렬 시스템의 네트워크라고 보았다. 또한 항만의 화물처리능력, 선박의 항차시간, 및 컨테이너의 장치기간(dwell time)에 따른 각 장치장에서의 컨테이너 처리량, 도착 및 서비스 패턴, 장비고장시간 등과 같은 변수들의 변화 효과를 설명하고 있다. 또한 대기행렬시스템의 구조를 갖는 G-Gert Simulation을 통해 현재 및 장래에 항만들이 직면하는 다양한 문제들을 반영하여, 취약부분을 식별하고 많은 정확하고 유용한 성과척도를 계산하고 있다.

Agerschou 등<sup>9)</sup>은 항만계획과 관련된 많은 연구들을 소개하고 있다. 이 논문에서는 1966년 1년 동안에 부산항과 인천항에 대한 선박의 도착분포가 포아송 분포와는 크게 다르고 정규분포에 더욱 잘 근사화 된다는 분석결과를 제시했다. 또한 사이프러스 주요항만에서의 도착 분포는 포아송분포라는 사실을 발견했다.

반면에 서비스시간분포는 처리되는 화물의 유형, 이용가능한 화물처리 시설, 화물처리의 전후 문서처리과정에 필요한 시간과 같은 통관문제, 계획된 항로에 있어 선박에 의한 선석의 장기 점유율, 그리고 화물을 기다리는 선박의 점유율 등의 영향을 받는데, 브라질 아마존지역의 Manuas항에서는 외항 화물선에 대한 서비스시간 분포만이 지수분포인 것으로 추정되었다. 또한 우리나라의 부산항 및 인천항의 경우 1966년의 실제 서비스시간 분포는 지수분포와는 다르다는 사실을 발견했다.

한편 국내에서는 김창곤 등<sup>10)</sup>이 선박의 형태별 구분을 통해 포항항 부두 대기시스템의 서비스시간에 대해 분석하고 있으며, 장영태<sup>11)</sup>는 인천항 일반부두, 포항항 원료부두, 및 울산항 원유부두를 대상으로 선박의 입출항 분포 형태를 분석하고 있다.

8) Mahendran, R., *Capacity Modelling of a Container Terminal*, Master Thesis, MIT, 1981.

9) Agerschou, H. & J. Korsgaard, "Systems analysis for port planning," *The Dock & Harbor Authority*, March 1969, 411-415.

10) 김창곤·홍동희·최종희, "항만대기 시스템에서 서비스 시간의 통계적 검증에 대한 연구," 「해양정책연구」, 제12권, 1997, 205-215.

11) 장영태, "우리나라 주요 수출입 항만에서의 선박 입출항 시간 분포 추정에 관한 연구," 「한국해운학회」, 제19호, 1994, 389-429.

#### IV. 선박 입항분포의 추정

본 장에서는 혼잡 컨테이너 터미널을 분석하기 위해 부산항자성대부두(BCTOC)의 1989년도 선박 입항 자료를 분석한다. 즉, 1989년 BCTOC 입항 선박들의 연간 도착 시간간격의 통계적 분포형태를 추정한다. 본 논문에서 분석한 1989년 BCTOC의 입항선박은 총 1730척이었으며, 실제자료에 의한 평균 선박도착간 시간은 5.0577시간, 표준편차는 4.57시간, 최소값은 0, 최대값은 45.7667시간이었다.

여기서 BCTOC의 각종통계를 분석함에 있어 실제로 관측된 값들과 가정한 확률분포간의 適合度(goodness-of-fit)검정은 Page가 제시한 형태모수 추정방법<sup>12)</sup>에 근거하여 수행하였다. 즉, 먼저 Page의 지침에 따라 가장 근접한 분포 형태를 찾고 이것의 적합도를  $\chi^2$ 분포검정방법을 통해 확인하였다.

한편 부두에서의 선박 도착간 시간분포형태에 대해 UNCTAD는 일반적인 벌크화물을 취급하는 一般埠頭의 경우 指數分布(exponential distribution), 專用埠頭(specialized berth)의 경우 二분포를 따르는 것으로 제시하고 있다.<sup>13)</sup>

그러나 Page의 근사적 형태모수 추정결과를 통해 판단해 볼 때 BCTOC의 선박 도착간 분포는 UNCTAD의 주장과 달리 전용 컨테이너 부두임에도 불구하고 지수분포형태에 가장 가까운 것으로 나타났다.

$$\lambda = \frac{E(x)}{Var(x)} = \frac{5.0577}{21.883} = 0.242211, k = 1.2250$$

$$12) f(x) = \lambda^k x^{k-1} \frac{e^{-\lambda x}}{(k-1)!}$$

여기서  $\lambda$ : 단위시간당 평균 도착 횟수

$x$ : 시간

$k$ : 형태모수(phase parameter)

위와 같은 감마분포에서 평균과 분산은 다음과 같음.

$$E(x) = \frac{k}{\lambda}, Var(x) = \frac{k}{\lambda^2}$$

여기서  $\lambda$ , 평균 및 표준편차와의 관계를 통해 형태모수( $k$ )를 구하면 다음과 같다.

$$\lambda = \frac{E(x)}{Var(x)}, k = \frac{\{E(x)\}^2}{Var(x)} = \lambda \cdot E(x)$$

(Page, E., *Queueing Theory in OR*, Butterworths, 1973 및 장영태, 앞의 논문, 참조)

13) UNCTAD, *Port Development*, United Nations, 1985, p.219.

즉, 형태모수가 1과 가장 가깝기 때문에 지수분포로 예비 추정할 수 있다.

우선 BCTOC의 도착간 시간 분포가 Page방법에 따라 추정한 분포와 일치하는지를 검토해보기 위해 실제 선박도착 시간간격에 대한 데이터와 이 평균 및 표준편차에 대응하는 지수분포에서 기대되는 예상도착선박간 분포와 비교해 보았다. 일반적으로 많이 쓰이는  $\chi^2$ 검정을 통해 BCTOC의 실제 선박 도착간 시간 자료와 지수분포에 대해 검정을 실시하면 (표 1)과 같은 결과를 얻을 수 있다. 즉, 선박의 도착간 시간 분포를 지수분포로 가정했을 때 우리가 분석하고자 하는 1989년 BCTOC의 선박 도착간 분포에 대한 카이제곱값은 35.6385가 된다.

(표 1) 선박 도착시간간격의 카이제곱검정

계 급 구 간	관 찰 도 수( $O_i$ )	기대도수( $E_i$ )	$\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
0~0.2594	91	86.45	0.2395
~0.5329	84	86.45	0.0694
~0.8220	72	86.45	2.4153
~1.1286	97	86.45	1.2875
~1.4550	73	86.45	2.0926
~1.8040	75	86.45	1.5165
~2.1788	90	86.45	0.1458
~2.5836	79	86.45	0.6420
~3.0237	74	86.45	1.7930
~3.5057	76	86.45	1.2632
~4.0386	71	86.45	2.7612
~4.6343	101	86.45	2.4488
~5.3097	91	86.45	0.2395
~6.0894	92	86.45	0.3563
~7.0115	98	86.45	1.5431
~8.1401	98	86.45	1.5431
~9.5951	116	86.45	10.1007
~11.6458	94	86.45	0.6594
~15.1516	90	86.45	0.1458
15.1516~	67	86.45	4.3760
계	1,729	1,729	35.6385

주 : d.f.: 19,  $\alpha$ : 0.01,  $\chi^2_{19,0.01}$ : 36.2



또한 <표-1>의 검정에서처럼 계급수를 20개로 할 때 자유도는 19가 되고, 유의수준  $\alpha$ 를 0.01로 했을 경우 카이제곱분포표에 의해 임계값은  $\chi^2_{19,0.01}=36.2$ 가 된다. 따라서 카이제곱값이 임계값보다 작아 ( $\chi^2_{19,0.01}=36.2 > \chi^2=35.6385$ ) BCTOC의 선박도착간 분포가 지수분포를 따르는 것으로 판단할 수 있다.<sup>14)</sup>

## V. 서비스 시간분포의 추정

혼잡 컨테이너 터미널의 두번째 모수 추정단계로 대기행렬모형 등에서 서버의 서비스시간이라고 간주할 수 있는 접안시간의 분포형태를 추정해 보면 다음과 같다. UNCTAD는 컨테이너 터미널을 포함한 전용터미널에서의 서비스분포가 일랑-2를 따른다<sup>15)</sup>고 했으나 BCTOC의 경우 서버(船席) 4개 전체를 동시에 만족하는 단일의 유의한 분포를 추정할 수 없었다. 따라서 52번, 53번, 61번 및 62번의 각선석별로 분포를 따로 추정해 보았다.

선석별로 적당한 통계적 분포를 추정하기 위해 먼저 각선석의 기술통계량을 분석해 보면 다음 <표-2>와 같다. 우선 선석52는 평균 서비스시간이 16.72시간, 표준편차 6.77시간으로 연간 430척의 선박을 처리했으며, 선석53에서는 평균서비스 시간 17.35시간, 표준편차 7.78시간으로 선석52와 동일하게 연간 430척의 선박을 처리했다. 또한 선석61에서는 평균서비스 시간 18.08시간, 표준편차 8.07시간으로 연간 424척의 선박을 처리했으며, 마지막으로 선석62는 선박당 평균 16.44시간, 표준편차 7.32시간에 연간 446척의 컨테이너선을 처리했다.

BCTOC가 1989년에 처리한 전체 1730척의 선박에 대한 서비스 시간분포를 Page방법에 따라 선석별로 예비 추정하고, 이를 앞의 도착간 분포의 추정시와 마찬가지로 각선석별로 예비추정한 분포형태를 실제분포형태로 사용할 수 있는지를 카이제곱검정으로 검정해보면 다음 <표-3>과 같다. 즉, 각 선석에

14) 카이제곱검정에서는  $k$ 가 구간수,  $m$ 이 추정모수수일 경우 자유도  $k-m-1$ 을 기준으로 검정한다. 이때  $\chi^2_{k-m-1,\alpha} > \chi^2$ 이면 귀무가설을 기각 못하나,  $\chi^2_{k-m-1,\alpha} < \chi^2$ 이면 귀무가설을 기각해야 한다. 또한  $\chi^2_{k-m-1,\alpha} \leq \chi^2 \leq \chi^2_{k-m-1,\alpha}$  인 경우에도 검정력은 감소되나 제1종 오류는 자유도  $k-m-1$ 을 사용할 때와 유사하기 때문에  $\chi^2_{k-m-1,\alpha} < \chi^2$ 인 경우만을 기각해야 한다(Law, A. W. & M. D. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, 2nd ed., McGraw-Hill, 1991. p.384 참조).

15) UNCTAD, 앞의 책, p.219.



대해 20개의 구간으로 나누어 카이제곱검정을 할 때 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서의 임계값은  $\chi^2_{17,0.05}=27.6$ 인 데 비해, 선석52는 카이제곱값 25.77, 선석61은 17.23 그리고 선석62는 26.74로 임계값보다 작으며, 선석53도 임계값  $\chi^2_{19,0.05}=30.1$ 보다 작은 카이제곱값 28.23을 가져<sup>16)</sup> 전석선이 Page방법으로 예비 추정한 분포가 실제분포라고 판정할 수 있다.

〈표 2〉 BCTOC 각 선석의 서비스 시간 기술통계량

구 분	52번선석	53번선석	61번선석	62번선석
평 균	16.7212	17.3505	18.0844	16.4368
중 양 값	16.1083	15.9333	16.5417	15.2500
최 빈 값	14.8833	14.4333	19.9167	15.2500
표 준 편 차	6.7746	7.7777	8.0753	7.3229
침 도	1.7956	0.9318	0.7067	0.8832
왜 도	0.8162	0.9000	0.8987	0.8834
최 소 값	3.5833	2.0000	4.3333	2.9167
최 대 값	52.2500	44.5500	49.4667	41.6667
관 측 수	430	430	424	446

〈표 3〉 BCTOC 각선석의 서비스 시간 형태모수 추정

구 분	52번선석	53번선석	61번선석	62번선석
$\lambda$	0.36	0.29	0.28	0.31
$k$	6.09	4.98	5.02	5.04
예비추정분포	얼랑-6	얼랑-5	얼랑-5	얼랑-5
카이제곱값	25.6279*	28.2326**	17.2264*	26.7354*
$\chi^2$ 검정결과	기각 못함	기각 못함	기각 못함	기각 못함

주 : \* 임계값  $\chi^2_{17,0.05}=27.6$

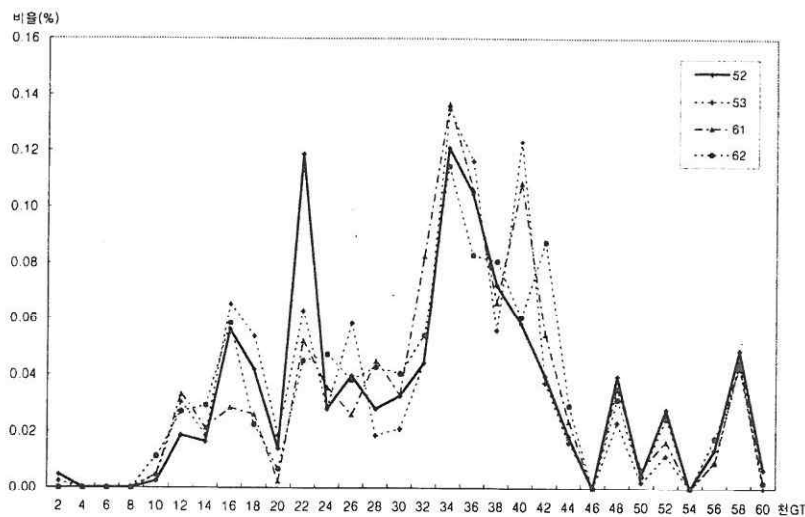
\*\* 임계값  $\chi^2_{19,0.05}=30.1$

16) 주14) 참조.

전술한 대로 본 논문에서 선석별로 추정해본 서비스 시간분포는 선석 52번이 일랑-6이고 나머지는 일랑-5였다. 그런데 왜 한 터미널에서 같은 화물과 동일한 종류의 선박이 처리되는데 서비스 시간 분포가 서로 다른 것일까? 이에 대해서는 다음과 같은 해석이 가능할 것이다.

첫째, 〈그림 2〉와 같이 각선석별로 1년동안 처리한 선박의 선형을 분석해본 결과 선석52와 나머지 선석들에서 뚜렷한 차이를 나타냈다. 예를 들어, 특히 52번 선석에서는 20,000~22,000톤 내외의 선박들의 비중이 12%나 차지했지만 나머지 선석들의 경우는 4~6%정도에 불과했다. 그러나 반대로 선석 52에서는 38,000~42,000톤 내외의 선박들의 비중이 10%를 차지한 데 비해, 다른 선석들에서는 15~16% 정도로 나타났다. 이러한 입항선박 선형구성의 차이는 선석52와 나머지 선석들에 있어 서비스 시간분포 형태가 서로 다르게 해주는 요인이 된 것으로 판단된다.

〈그림 2〉 BCTOC 선석별 입항 선박 선형 분포



둘째, 첫 번째 요인과의 관련성으로, 당시 BCTOC에서는 컨테이너 크레인의 배치상태에 따라 52번 선석이 다른 선석들에 비해 소형선박처리 비중이 상대적으로 높았던 것으로 추정할 수 있다. 즉, 1989년 당시 동 터미널에는

〈표 4〉처럼 52번 선석부터 일련 번호를 따라 111번부터 119번까지 9기의 컨테이너 크레인이 나열되어 있었는데, 52번 선석쪽에 배치된 컨테이너 크레인이 양력이나 시간당 처리능력 등에서 다른 선석쪽에 있는 컨테이너 크레인보다 성능이 약간 떨어지는 것이었기 때문에 당연히 다른 선석보다는 선형이 작은 선박이 많이 접안하는 동시에 서비스시간에도 영향을 미쳤을 것으로 추정할 수 있다.

〈표 4〉 BCTOC 컨테이너 크레인의 설비능력

크레인 번호	시간당 처리능력(VAN/Hr)	양력(톤)	비 고
111, 112, 113, 114	25	30.5	112번은 1996년 폐기 1989년 4월 설치
115	35	40.5	
116, 118	25	40.6	
117, 119	25	30.5	

자료 : BCTOC.

## VI. 결론 및 추후 연구과제

지금까지 혼잡컨테이너 터미널을 분석하기 위해 1989년 BCTOC의 컨테이너선 입출항시스템에 대한 분석을 수행하였다. 컨테이너 터미널의 선박처리시스템의 분석을 위해 우선 관련 분포를 추정해 본 결과 선박의 도착간 시간 분포는 지수분포를 따르고, 터미널의 서비스시간분포는 선석별로 다른 형태를 갖는 일량분포(선석52는 일량-6, 나머지는 일량-5) 형태(heterogeneous multiserver with different erlang service time)를 따르는 것으로 추정되었다.

이와같이 시설별로 서비스 시간분포가 다른 이유는 연간 처리한 선박의 선형 분포가 선석52와 나머지 선석들에서 뚜렷한 차이를 보이기 때문으로 추정된다. 또한 당시 BCTOC의 52번 선석은 양력이나 시간당 처리능력 등에 있어 다른 선석쪽 크레인들보다 성능이 약간 떨어지는 크레인이 배치되어 있었기 때문에 다른 선석들에 비해 상대적으로 소형선박처리 비중이 높은 동시에 서비스 시간에도 영향을 미친 것으로 추정할 수 있다.

한편, 본 논문의 한계와 이에따른 추후연구 과제를 다음과 같이 생각해 볼

수 있다.

첫째, 본 논문은 일반적인 터미널을 대상으로 한 것이 아니라 가장 혼잡한 상황만을 분석한 것이기 때문에 향후에는 시스템의 혼잡도가 크게 완화된 시점의 데이터와의 비교를 통해 더욱 일반적인 모형을 구축해야 할 것이다.

둘째, 4선석 각각의 서비스시간 분포가 52번은 알량-6이고, 나머지는 알량-5로 검정되었지만, 만약 52번 선석만의 특정한 상황을 무시한다면 일반적인 알량, 5분포를 전 터미널에 적용해도( $M/E_5/4$ ) 크게 무리가 없을 것으로 생각된다. 향후에는 이러한 사항에 대해서도 자세히 알아보아야 하겠다.

셋째, 선박 도착간 시간 분포에 대한 카이제곱검정에 있어 유의수준으로 0.01을 사용했으나, 0.01은 검정시의 유의수준으로 가장 많이 사용되는 0.05보다는 검정력이 떨어지는 것으로 판단할 수 있다.

넷째, 본 논문에서는 궁극적으로 복잡한 대기행렬모형 등을 구축하기 위한 전단계로 컨테이너 터미널의 관련 분포인 선박도착간 시간 분포와 서비스 시간 분포만을 추정하였으나, 실제로 일반적인 모형을 구성하기 위해서는 전체 시스템에 영향을 미치는 육상이나 야드의 상태, 예선의 상태 등의 여러 가지 요소들을 추가로 고려해 주어야만 할 것이다. 따라서 본 논문의 결과에 의한 모형은 전체최적을 추구하지 못하고 부분 최적만을 추구한다는 한계가 있을 수 있다.

그렇지만 본 논문에서 검정된 통계적 분포형태를 가지고 단순하지만 유용한 대기행렬모형과 시뮬레이션 모형을 구축할 수 있다. 이러한 모형의 구축과 더불어 관련시간에 대한 경제적 가치평가도 아울러 수행하면 보다 실용적인 연구결과를 얻을 수 있을 것이다.



## 참 고 문 헌

1. 김재련, 「컴퓨터 시뮬레이션」, 박영사, 1987.
2. 김창곤·홍동희·최종희, “항만대기 시스템에서 서비스 시간의 통계적 검증에 대한 연구,” 「해양정책연구」, 제12권, 1997, 205-215.
3. 이영해·백두권, 「시스템 시뮬레이션」, 경문사, 1989.
4. 임진수·박병인, 「컨테이너 터미널 능력산정 연구」, 해운산업연구원, 1991. 12.
5. 장영태, “우리나라 주요 수출입 항만에서의 선박 입출항 시간 분포 추정에 관한 연구,” 「한국해운학회」, 제19호, 1994, 389-429.
6. Agerschou, H. & J. Korsgaard, “Systems analysis for port planning,” *The Dock & Harbor Authority*, March 1969, 411-415.
7. Bux, W. & U. Herzog, “The Phase Concept: Approximation of Measured Data and Performance Analysis,” *Computer Performance*, Chandy, K. M. & M. Reiser (eds.), North Holland Publishing Company, 1977.
8. Frankel, E. G., *Port Planning and Delopment*, John Wiley & Sons, 1987.
9. Gleave, G. R. “A Port Traffic Allocation Model,” *The Dock & Harbor Authority*, Vol. 61, No. 725, 1981, 274-376.
10. Grassman, W. K. & Y. Q. Zhao, “Heterogeneous Multiserver Queues with General Input,” *INFOR*, 35, 1996, 208-224.
11. Law, A. M. & W.D. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, 2nd ed., McGraw-Hill, 1991.
12. Katayama, T., “A Note on Conservation Laws for a Multi-class Service Queueing System with Setup Times,” *Queueing Systems*, 11, 1992, 299-306.
13. Mahendran, R., *Capacity Modelling of a Container Terminal*, Master Thesis, MIT, 1981.
14. Mettam, J. D. & M. Cons, “Forecasting delays to ships in port,” *The Dock and Harbour Authority*, 1967, 389-82
15. Page, E., *Queueing Theory in OR*, Butterworths, UK, 1973.
16. Sen, P., “Optimal Priority Assignment in Queues : Application to Marine

- Congestion Problems," *Maritime Policy and Management*, Vol. 7, No.5, 1980, 175-184
17. UNCTAD, *Port Development*, 2nd ed., United Nations, 1985.
18. Prisker, A.A.B., *Introduction to Simulation and SLAM II*, 3rd ed., John Wiley & Sons, 1986.
19. Viswanadham, N. & Y. Narahari, *Performance Modeling of Automated Manufacturing Systems*, Prentice-Hall, 1992.
20. Wanhill, S. R. C., "A Study in Port Planning : The Example of Mina Zayed," *Maritime Studies and Management*, 2, 1974, 48-55.