

## 컨테이너 터미널의 이론적 대기율과 실제 대기율 비교에 관한 연구: 부산항 신항 A 터미널을 대상으로

이정훈\* · 박남규\*\*

### A Study on the Gap between Theoretical and Actual Ship Waiting Ratio of Container Terminals: The Case of a Terminal in Busan New Port

Lee, Jung-Hun\* · Nam-Kyu Park\*\*

#### Abstract

The number of ships serviced at the container terminals in Busan is increasing by 2.9% per year. In spite of the increase in calling ships, there are no official records of waiting rate by the port authority. This study attempts to compare the theoretical ship waiting ratio and actual ship waiting ratio. The actual ship waiting ratio of container terminals is acquired from the 2014 to 2016 data of PORT-MIS and Terminal Operating System (TOS). Furthermore, methods and procedures to measure the actual ship's waiting rate of container terminal are proposed for ongoing measurement. In drawing the theoretical ship waiting ratio, the queuing theory is applied after deploying the ship arrival probability distribution and ship service probability distribution by the Chi Square method. As a result, the total number of ships waiting in a terminal for three years was 587, the average monthly service time and the average waiting time was 13.8 hours and 17.1 hours, respectively, and the monthly number of waiting ships was 16.3. Meanwhile, according to the queuing theory with multi servers, the ship waiting ratio is 31.1% on a 70% berth occupancy ratio. The reason behind the huge gap is the congested sailing in the peak days of the week, such as Sunday, Tuesday, and Wednesday. In addition, the number of waiting ships recorded on Sundays was twice as much as the average number of waiting ships.

*Key words: Queuing Theory, Ship Waiting Ratio, Waiting Time, Container Terminal*

▷ 논문접수: 2018. 05. 18.   ▷ 심사완료: 2018. 06. 27.   ▷ 게재확정: 2018. 06. 28.

\* 동명대학교 항만물류시스템학과 박사수료, 제1저자, [ljh4139@tu.ac.kr](mailto:ljh4139@tu.ac.kr)

\*\* 동명대학교 국제물류학과 교수, 교신저자, [nkpark@tu.ac.kr](mailto:nkpark@tu.ac.kr)

## I. 서론

컨테이너 터미널의 선박대기율에 관한 정부의 공식적 발표가 없는 상황에서 부산항 컨테이너 터미널의 선박 입항척수는 연 2.9%이상(SPIDC, 2016) 증가하고 있다. 컨테이너 터미널의 선석 혼잡이 발생하고 있지만 실제 선박대기율이 측정 및 공표되지 않고 있어 터미널 서비스 수준 결정 및 운영 정책 결정에 어려움을 주고 있다.

학술적으로 해상교통관제시스템(VTS, Vessel Traffic Service System)을 이용한 대기율 측정 연구가 있었지만, 산정 방법 및 산정 결과에 대한 신뢰성에 문제가 제기된다. 이유는 VTS에 포함되는 선박의 대기 척수 및 대기시간을 정확히 추출하는 작업이 용이하지 않기 때문이다. 컨테이너선박의 대기율은 4% 미만(이기열 외, 2015: 114)으로 측정된다고 추정하고 있지만, 이에 대한 검증 및 체계적 방법론을 정립할 필요가 있다.

본 연구는 항만시설사용실적자료와 터미널운영데이터자료를 통해 컨테이너 터미널의 대기율을 공인된 대기시간으로 산정하고자 한다. 이를 통해 컨테이너터미널의 선박대기율 측정 방식을 제안하고 터미널의 실제 대기율과 대기행렬이론상의 대기율을 비교하여 차이가 어떻게 발생하는지를 밝혀내고자 한다.

연구의 범위는 부산항 신항의 A터미널을 대상으로 한다. 본 연구의 2장은 대기율과 관련된 선행연구를 검토하고, 3장은 대기행렬이론을 통한 이론상 대기율 산정, 4장은 A터미널을 대상으로 3년간 실제 운영현황을 분석하여 실제 대기율을 측정하며, 대기행렬이론의 대기율과 컨테이너 터미널 실제 산정된 대기율 결과값과 비교 분석하며 5장은 결론 및 향후 연구를 다루고 있다.

## II. 선행연구

UNCTAD(1973, 1985)에 의하면 선박의 대기시간 비율을 항만의 서비스수준 중요 지표로 사용하고 있으며, 항만의 권장 서비스 수준의 대기율은 30% 이내 수준의 대기시간을 유지할 것을 주장하였다.

장영태(1991)은 체선·체화가 문제되는 항만의 개선을 위하여 선박의 체항시간을 단축시켜 경제적 기회비용을 높여야 함을 주장하였다. 항만의 서비스 지표로 선박당 평균 체항시간과 대기시간을 제시하였다. 도착시간분포와 서비스시간분포가 얼랑분포를 나타낼 때 대기추정식을 이용할 수 있다고 주장하였다.

Goss and Mann(1997)은 장기 기회비용 개념을 적용하여 항만의 대기비용을 산정하였다. 1970년 기준 영국 항만에서의 대기시간을 바탕으로 비용을 산정하였고, 이 연구는 체선·체화비용을 추정하는 핵심이론으로 발전하였다.

백인흠(1998)에 의하면 항만 전체는 선박대기시간과 밀접한 관계가 있으며, 항만에 대기행렬이론을 적용하여 선박의 도착형태와 부두서비스 시간을 분석하였다. 이를 이용하여 평균선석점유율과 예상되는 선박의 대기시간간의 관계를 규명하였다. 선석 점유율과 대기시간의 관계 모델을 활용하여 인천항에 적정항만시설을 산정하였다.

김창근(2000)은 선박대기시간 비율, 선박대기 확률, Norm-time 초과 비율을 컨테이너 터미널의 서비스 수준 평가지표로 제시하고 이들의 상호관계를 대기이론을 이용하여 분석하였다. 컨테이너 터미널은 엄밀히 개방형 대기시스템(open queueing system)이나 시스템의 크기가 크고 또한 선박도착시간 분포 등 관련시간 분포가 마코프 특성을 만족하지 않는 경우가 많기 때문에 대기이론을 이용하여 해석학적으로 문제를 푸는 것은 한계가 있다고 주장하였다. 대기시스템으로 서비스 수준 평가지표간의

관계를 분석하였다.

박병인·배종욱·박상준(2009)은 항만별 서비스 수준을 실증분석하기 위해 국내 28개 무역항에 대한 기획비용 관점의 항만 대기비용을 산정하였다. 또한 이러한 항만대기비용 산정결과를 활용하여 항만별 서비스 수준을 평가하였다.

이기열·김근섭·김은수·정무영(2015)에 의하면 국내 항만의 경우 항만 체선을 도출하기 위해 전체 입항선박 수 대비 대기시간이 12시간 이상인 선박의 척수를 바탕으로 산정하기 때문에 실제 선박 대기 현상의 발생 현황을 파악하기 힘들다고 주장하였다. 선박자동식별시스템(AIS, Auto Identification System) 정보를 활용하여 국내 주요 항만의 서비스 지표인 선석점유율 및 선종별 대기율을 분석하였다. 국내 항만 중 포항항이 비정상적으로 높은 대기율을 보이고 있는데, 그 이유는 물류흐름상의 절차, 너울(스웰)과 같은 외부영향으로 인한 대기 등으로 추정하였다.

안태훈(2015)에 의한 사업현안분석 평가 보고서에서 효율적인 항만개발의 기준으로 1일 기준 하역 능력과 서비스 수준을 기준으로 항만 개발 규모를 결정하여야함을 제시하며, 항만의 중요 서비스 지표인 모형실험에 의한 선박대기율을 실제 선박대기율로 실측할 필요가 있음을 주장하였다.

박상국(2016)은 선석점유율과 선박대기율은 상호 의존적인 관계를 갖고 있다고 주장하였다. 터미널 운영자 입장에서는 경쟁관계에 있는 항만 기준으로 어떤 수준에서 선박대기율을 유지할 것인가를 예측하여 최적 서비스 수준을 유지하려는 노력이 필요하다고 주장하였다.

이태휘(2017)은 체선은 항만의 운영 효율성에 어떠한 영향을 어느 정도 미치는가에 대하여 SBM-DEA모형을 통하여 체선을 고려한 항만의 효율성을 분석하고, DEA-CCR, DEA-BCC 모형의 연구결과를 비교하였다.

### III. 대기행렬이론 및 대기율 산정

#### 1. 대기행렬이론

대기시스템을 구성하는 요소는 고객의 도착을 나타내는 투입원, 서비스를 받기 위해 고객이 기다리는 대기행렬, 고객에게 서비스를 제공하기 위한 한 개 이상의 서비스시설, 서비스시설을 통해서 서비스를 제공받은 고객이 이탈할 수 있는 출구로 구성되어 있다(그림 1).

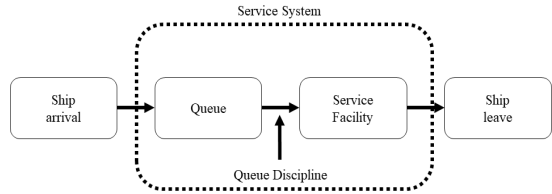


그림 1. 대기행렬시스템 모델

고객의 도착형태는 크게 2가지의 기준인 도착률과 도착간격에 의해 정해진다. 도착률은 일정한 단위시간에 대기행렬시스템에 도착하는 고객의 수가 얼마인가로 표현한다. 이때 고객은 무작위로 도착하지만 일정한 확률분포를 가지고 도착하며, 대부분 도착률은 포와송분포, 도착시간간격은 지수분포를 따른다. 고객이 도착하는 확률은 식(1)과 같다.

$$P(r) = \frac{e^{-\lambda T} (\lambda T)^r}{r!} \quad (식1)$$

여기서,

$P_r$ :  $r$ 값을 가질 확률

( $r$ 명의 고객이 일정시간 내 도착할 확률)

$r$ : 일정단위시간당 도착하는 고객의 수,

0,1,2,3...

$e$ : 2.71828

$\lambda$  : 일정단위시간당 평균도착 수

$T$  : 일정단위시간

서비스시설에 의해서 고객에게 제공되는 서비스 형태는 서비스시간과 서비스율로 설명될 수 있다. 서비스시간이란 고객에게 서비스를 제공할 때 소요되는 시간을 뜻하는 것이고, 서비스율이란 일정한 단위시간당 서비스를 제공받는 고객의 수를 의미한다. 서비스시간의 분포를 나타내주는 부(-)의 지수 분포 확률밀도함수는 식(2)와 같이 정의된다.

$$f(t) = \mu e^{-\mu t} \quad (식2)$$

여기서,

$t$ : 서비스 시간

$\mu$ : 평균서비스율(평균도착률의역수)

$e$ : 2.71828

Little(1961)은 다양한 대기행렬모형(M/M/C, M/Ek/C, Ek/Ek/C 등)에 맞게  $L_s$ ,  $L_q$ ,  $W_s$ ,  $W_q$  등을 계산하기 위한 식(3), (4), (5), (6), (7), (8), (9)를 유도해 냈다.

$L_s$ : 시스템 내에서 체류하는 평균고객의 수

$$E[n] = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{\lambda}{\mu-\lambda} \quad (식3)$$

$L_q$ : 대기행렬에서 대기하는 평균고객의 수

$$E[n] - (1 - P_0) = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} \quad (식4)$$

$E[W_s]$ : 시스템 내에서 고객 1명당 체류 하는 평균시간

$$E[W_s] = \frac{1}{\lambda} E[n] = \frac{1}{\lambda} \frac{\lambda}{\mu-\lambda} = \frac{1}{\mu-\lambda} \quad (식5)$$

$E[W_q]$ : 대기행렬에서 고객 1명당 대기 하는 평균시간

$$E[W_q] = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} = s \frac{\rho}{1-\rho} \quad (식6)$$

$$s = \frac{1}{\mu} \text{: 고객당 평균서비스 시간} \quad (식7)$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \text{: 평균선석 점유율} \quad (식8)$$

$$E[W_q]/s = \frac{\rho}{1-\rho} \text{: 평균대기율} \quad (식9)$$

## 2. A 터미널의 선박도착시간간격 분석

본 연구에서는 대기행렬시스템의 이론상 도착시간간격이 지수분포를 따르는지를 밝혀내기 위해 부산항 신항 A터미널을 대상으로 분석을 실시하였다.

A 터미널은 부산항 신항의 북측에 위치한 6개 선석을 보유한 터미널 총 선석길이 2km를 보유하고 있다. A 터미널 시설현황은 <표 1>과 같다.

표 1. A 터미널의 시설현황

총 터미널 선석길이(m)	선석 규모	선석 수
2,000	50,000DWT	6

자료 : A 터미널 자료.

A 터미널의 3년간(2014~2016)의 Port-MIS자료를 바탕으로 선박도착시간간격을 분석한 결과, 총 입항 선박 수는 6,675척, 평균 도착시간은 3.94시간, 도착분포는 <그림 2>와 같이 지수분포를 나타냈으며, 분포의 Square Error는 0.0022로 나타났다. A터미널의 선박도착시간간격이 지수분포에 적합한지를 테스트하기 위하여 Chi Square Test기법을 사용하였으며, <표 2>와 같이 적합성이 유의한 것으로 나타났다.

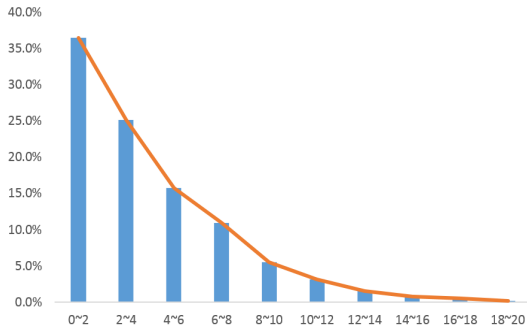


그림 2. A터미널의 선박도착시간간격 분포

자료 : A 터미널 Port-MIS 자료(2014~2016).  
 주) x축은 도착시간구간, y축은 백분율임.

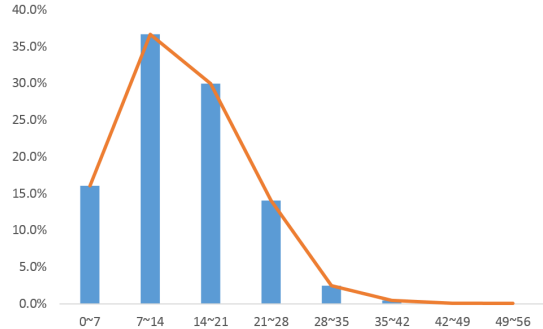


그림 3. A터미널의 서비스시간간격 분포

자료 : A 터미널 Port-MIS 자료(2014~2016).  
 주) x축은 서비스시간구간, y축은 백분율임.

표 2. 선박도착시간간격 Chi Square Test 결과

구분	결과 값
입항선박 수 (척)	6,675
평균 도착시간 (h)	3.94
도착분포	지수분포
Square Error	0.0022
Number of intervals	10
Degrees of freedom	8
Test Statistic	237
P 값	< 0.005

표 3. 서비스시간 Chi Square Test 결과1

구분	결과 값
입항 선박 수 (척)	6,675
평균 서비스시간 (h)	14.2
도착분포	베타분포
Square Error	0.001448
Number of intervals	8
Degrees of freedom	6
Test Statistic	3.68e+003
P 값	< 0.005

### 3. A 터미널의 서비스시간간격 분석

A 터미널의 3년간(2014~2016)의 Port-MIS자료를 바탕으로 서비스시간간격을 분석한 결과, 총 입항 선박 수는 6,675척으로 동일하며, 평균 서비스시간은 14.2시간, 서비스시간분포는 베타분포, Square Error는 0.001448로 나타났다. A터미널의 서비스시간간격이 베타분포에 적합한지를 테스트하기 위하여 Chi Square Test기법을 사용하였다. 그 결과(표 3)과 같이 적합성이 유의한 것으로 나타났다.

이론상 대기율은 서비스 분포를 지수분포로 가정하고 있어 지수 분포 역시 적합한 것으로 판명된다. 즉, Square Error는 0.0581로서 크게 나타나지만 유의 확률의 검증 결과 ( $P < 0.005$ )는 유의한 것으로 나타났다.

### 4. A 터미널의 이론상 대기율 추정

A 터미널의 경우 6개 선석을 보유한 복수 선석이므로 복수 선석의 대기율 산정공식을 활용하고자 한다. 도착은  $\lambda$ 율로 포와송 분포를 따르고, 서버는 C 개이며, 각 서버는 평균  $1/\mu$ 인 지수분포를 따른다고 가정할 경우, 산정식은 아래의 식(10), (11),

(12), (13), (14), (15)와 같다(Donald Gross et al, 1969).

$$L_q = \left( \frac{r^c \rho}{c!(1-\rho)^2} \right) p_0$$

평균 대기고객의 수 (식10)

$$Wq = \frac{L_q}{\lambda} = \left( \frac{r^c}{c!(c\mu)(1-\rho)^2} \right) p_0$$

: 평균 대기시간 (식11)

$$W = \frac{1}{\mu} + \left( \frac{r^c}{c!(c\mu)(1-\rho)^2} \right) p_0$$

: 평균 고객체류시간 (식12)

$$L = r + \left( \frac{r^c \rho}{c!(1-\rho)^2} \right) p_0$$

: 평균 체류고객 수 (식13)

$$p_0 = \left( \frac{r^c}{c!(1-\rho)} + \sum_{n=0}^{c-1} \frac{r^n}{n!} \right)^{-1}$$

(식14)

여기서,

$$r = \frac{\lambda}{\mu}, \quad \rho = \frac{r}{c} = \frac{\lambda}{cu}$$

: 서버 점유율 (식15)

Donald Gross et al.(1969)의 공식에 따라 평균 점유율과 평균대기율과의 관계를 산정하면 선석점유율 50%일 때 7.2%, 60%일 때, 14.6%, 65%일 때, 20.8%, 70%일 때, 31.1% 대기율로 각각 산정된다.

표 4. A 터미널 이론상 대기율 산정 결과

점유율 (%)	대기율 (%)	대기선박 척 수
50%	7.2%	3
60%	14.6%	15
65%	20.8%	32
70%	31.1%	80

자료 : 저자 분석결과

## IV. A터미널의 실제 대기율 측정

### 1. A 터미널의 현황 분석

부산항 신항 A 터미널의 3년간 입항선박 및 화물량을 월별로 분석한 결과, 입항선박은 2014년 2,183척에서 2016년 2,544척으로 361척 증가, 처리량은 2014년 3,986천TEU에서 2016년 4,678천TEU로 692천TEU 증가하면서 최근 3년간 입항척수는 5.2%, 처리량은 5.5% 연평균 증가율을 나타냈다(그림 4). 2014년도 평균 선석점유율은 65.1%에서 2015년도 74.8%, 2016년도 74.2%로 증가하였다. 입항선박 및 물동량 증가로 인해 선석점유율은 4.46% 연평균 증가율을 나타냈다(그림 5). 물동량과 선석점유율과의 상관관계를 살펴보면 87%로 분석되어 물동량과 비례하여 선석 점유율도 상승하는 것으로 분석되었다.

입항 선박 규모는 5,000TEU 이하의 피더선급 선박이 전체의 61.3%를 차지하며, 5천TEU급이상의 모선이 38.7%를 차지하고 있으며(표 5), 선박당 서비스 시간은 5,000TEU 이하가 평균 7시간 걸리며, 5천 TEU급이상의 모선이 평균 16.8시간 걸리는 것으로 분석되었다.

표 5. A터미널의 선박규모별 분석 결과

선박 규모 (TEU)	입항 선박 (척)	비율 (%)	화물량(TEU)		평균 서비스 시간 (h)
			평균 하역량	총 화물량 (천TEU)	
500	597	8.3	403	238	4.9
1,000	1,245	17.5	334	420	4.9
3,000	1,065	15.0	640	680	6.4
5,000	1,458	20.5	2,010	2,934	12.0
8,000	830	11.7	2,459	2,043	14.6
10,000	1,033	14.5	3,285	3,355	17.0
20,000	886	12.5	3,903	3,484	18.7

자료 : A 터미널 TOS 자료(2014~2016).

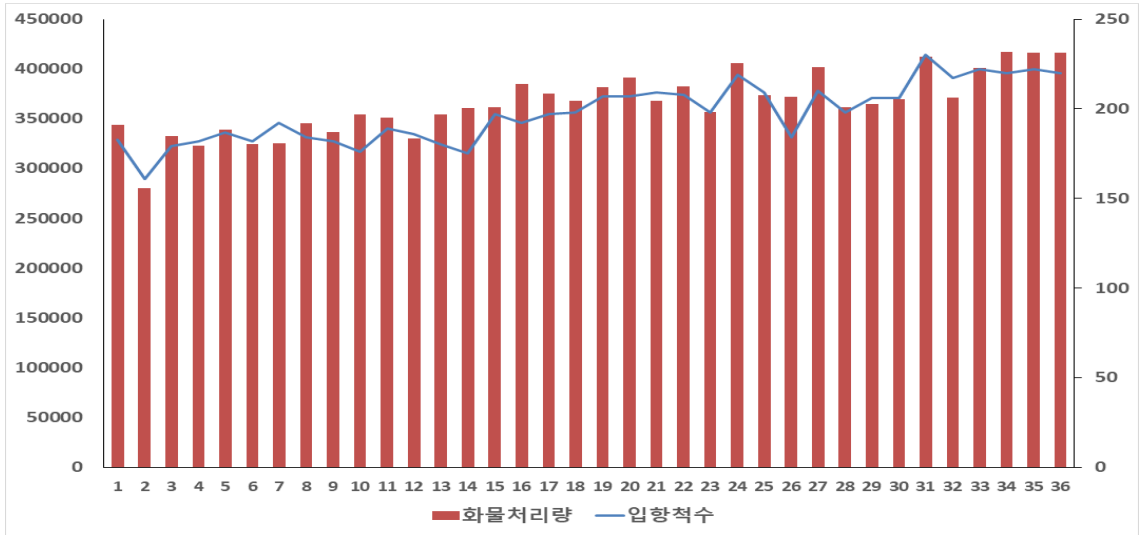


그림 4. A터미널의 월별 입항선박 수 및 화물처리량 분석 결과

자료 : A 터미널 TOS 자료(2014~2016).

주) x축은 2014~2016년까지 월별 기준, y축은 척수(우), 화물처리량(좌)임.

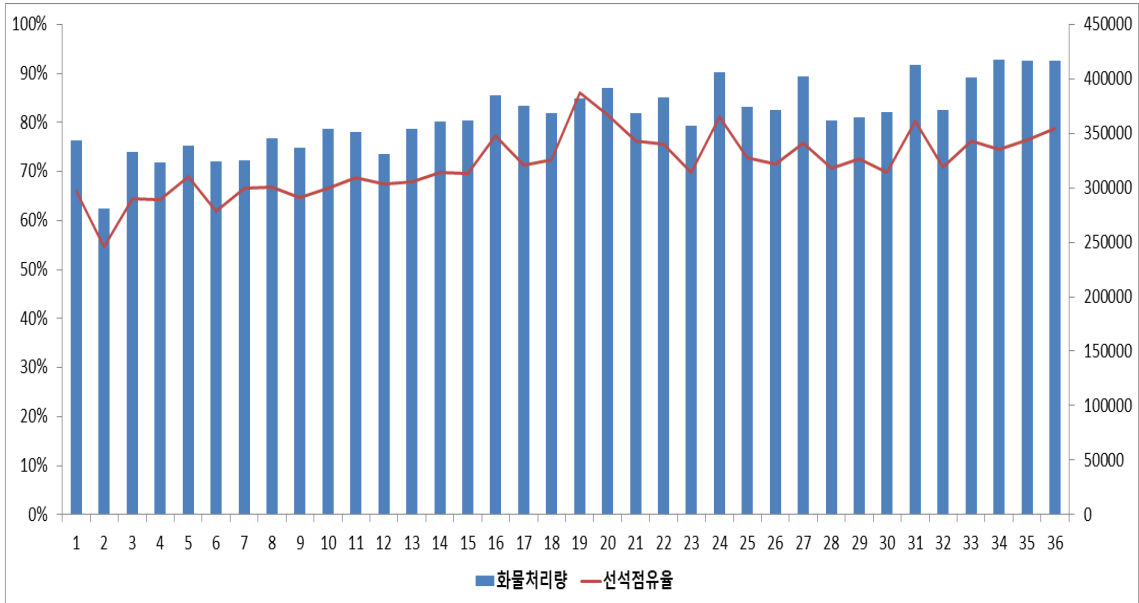


그림 5. A터미널의 월별 화물처리량 및 선석 점유율 분석 결과

자료 : A 터미널 TOS 자료(2014~2016).

주) x축은 2014~2016년까지 월별 기준, y축은 선석점유율(좌), 화물처리량(우)임.

### 2. 입출항 모델링 및 대기시간 정의

선박이 항만에 입항해서 출항까지의 과정은 입항 선박이 선석이 비어있다면 곧 바로 항로를 따라 선석에 접안하게 되지만 선석이 사용 중이면 정박지에서 대기하다가 접안하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 선석 부족으로 인한 정박지에 대기한 시간을 순수한 대기시간으로 정의한다(그림 6).

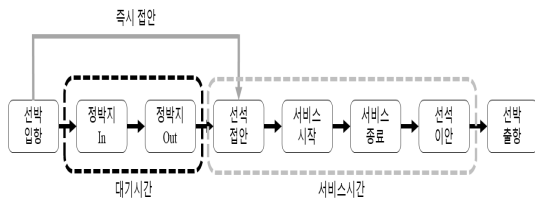


그림 6. 항만 선박 서비스 모델링

자료 : 저자 작성

### 3. 실제 대기시간 측정 방법

본 연구에서는 A 터미널의 실제 대기시간을 산정하기 위하여 2014년~2016년 3년간의 TOS 자료와 Port-MIS의 항만시설사용실적정보를 활용하였다. TOS자료 중 선명, 호출부호, 선박길이, 선박적재능력, 항차, 접안시간, 하역시작시간, 하역종료시간,

이안시간, 평균할당크레인 수, 양·적하량, 총 크레인 작업시간 등을 수집하였으며(표 6), Port-MIS의 항만시설사용실적자료 중 항만코드, 호출부호, 항차, 선명, 사용시설목적, 시설코드, 시설명, 이용시작시간 및 종료시간 등을 추출하였다.(표 7)

본 연구에서는 터미널운영데이터자료와 항만시설사용실적자료에서 각 선박의 동일한 호출부호를 연계하여 자료를 검증한 다음 하역시설이 부족으로 정박지에 대기하고 있는 선박을 대기울 산정 대상 선박으로 정의한다. 대기시간은 투묘시간에서 양묘 시간까지로 한다. 실제 대형 선박의 경우 투묘를 하지 않고 외항에서 드래프팅 하거나 속도를 늦추어 입항하는 경우는 측정이 어렵기 때문에 대기울 산정에서 제외하였다.

<표 6>과 <표 7>의 두 자료를 활용하여 대기시간 산정방법은 아래와 같다. ①TOS로 부터 입항선박의 호출부호와 접안일시를 순차적으로 선택하고, ②선택된 선박의 호출부호와 해당터미널(선석)의 접안일시를 기준으로 항만시설사용실적자료의 해당 선박을 찾는다. ③항만시설사용실적자료상 해당 선석의 접안시간과 TOS상의 접안시간의 일치여부를 파악한다. 이때 시간차가 ±3시간 미만에 있는지 확인한다. (이러한 이유는 TOS와 해수부자료상에

표 6. A 터미널 TOS 자료

선박명	선박 부호	선박 길이 (m)	선박 규모 (TEU)	항차	접안 시간	작업 시작 시간	작업 종료 시간	이안 시간	평균 투입 크레인 수	처리량 (TEU)	총 크레인 작업 시간(h)
MSC VALE RIA	3FFK4	366	13,920	06/2016	2016. 12.25. 6:40	2016. 12.25. 8:10	2016. 12.26. 4:55	2016. 12.26. 6:00	4.5	3,158	93
MSC MAXI NE	3EBJ4	300	8,353	04/2016	2016. 12.26. 7:55	2016. 12.26. 9:15	2016. 12.27. 2:20	2016. 12.27. 4:00	3.6	1,751	61.6

자료 : A 터미널 TOS 자료(2014~2016).





실제적 산정법은 선석의 가용시간 대비 선석 사용시간의 비율로 산정된다. 선석의 가용시간은 선석 길이(LOB)와 연간가용일수(DOY) 일일가용시수(HOD)의 곱으로 표현되면 선석 사용시간은 선박의 접안시간(PIT)과 이안시간(PIT) 차이와 선박길이(LOA)의 곱으로 표현된다.

$$BOR = \frac{\sum_{i=1}^n LOA_i \times (POT_i - POT_i)}{LOB \times DOY \times HOD} \quad (\text{식19})$$

A터미널의 TOS자료와 Port-MIS항만시설사용실적 자료를 활용하여 평균대기시간/평균접안시간의 식(16)을 이용하여 산정한 대기율 결과는 <표 8>과 같으며, 부산항 A터미널의 최근 3년간(2014~2016) 발생한 대기 척수는 총 587척, 월평균 16.2척의 대기선박이 발생하는 것으로 나타났다. 평균 대기시간/평균 접안시간 대기율(시간기준)은 123.9%로 나타났다.

표 8. A터미널 대기율 및 점유율 측정 결과

연도	월	평균 대기 척수	평균 대기 시간 (h)	평균 서비스 시간 (h)	대기율 (%)	선석 점유율 (%)
2014	1	5	20	14	142.9	66.0
	2	12	15.6	13	119.3	54.6
	3	6	22.1	14	163.3	64.4
	4	10	25.2	14	185.5	69.0
	5	16	11.5	14	82.0	61.8
	6	13	15.2	13	118.2	66.6
	7	7	10.5	13	78.9	64.7
	8	14	22.0	14	156.9	66.6
	9	15	19.4	14	143.3	64.7
	10	10	17.5	14	122.0	66.6
	11	13	16.0	14	116.4	68.7
	12	12	16.8	13	126.1	67.5
	Avg		11.0	17.6	13.6	129.5

연도	월	평균 대기 척수	평균 대기 시간 (h)	평균 서비스 시간 (h)	대기율 (%)	선석 점유율 (%)
2015	1	12	19.8	14	141.3	67.8
	2	16	17.7	15	116.5	69.7
	3	14	24.8	14	182.0	69.5
	4	19	21.5	15	140.7	77.3
	5	15	12.2	14	88.7	71.3
	6	18	18.5	14	133.6	72.3
	7	16	15.9	16	101.0	86.1
	8	31	20.7	15	141.2	81.5
	9	20	21.3	14	153.6	76.3
	10	17	17.3	14	124.5	75.6
	11	17	16.4	13	122.5	69.7
	12	14	16.2	14	118.1	81.1
Avg		17.4	18.5	14.3	130.3	74.8
2016	1	15	16.5	13	124.4	72.8
	2	20	18.0	15	120.9	71.6
	3	13	12.8	14	92.1	75.7
	4	13	12.0	14	87.5	70.7
	5	19	15.9	14	117.3	72.5
	6	22	16.0	13	121.4	69.9
	7	27	17.3	13	130.4	80.4
	8	18	14.7	13	117.8	70.9
	9	24	14.4	13	110.6	76.2
	10	25	13.8	13	106.7	74.4
	11	24	15.4	13	118.1	76.4
	12	25	13.7	14	100.0	78.8
Avg		20.4	15.0	13.5	112.2	74.2
Total Avg		16.2	17.1	13.8	123.9	71.4

자료 : A 터미널 TOS 자료(2014~2016), 저자 분석결과

5. 이론과 실제 대기시간 차이 분석

제3절에서 제시한 바와 같이 대기행렬이론상 대기율은 점유율 70%일 때 31.1%로 산정되었고, A터미널의 실제 대기율 산정 값은 선석 점유율 71.4%일 때 123.9% 대기율로 산정되었다. <그림 8>

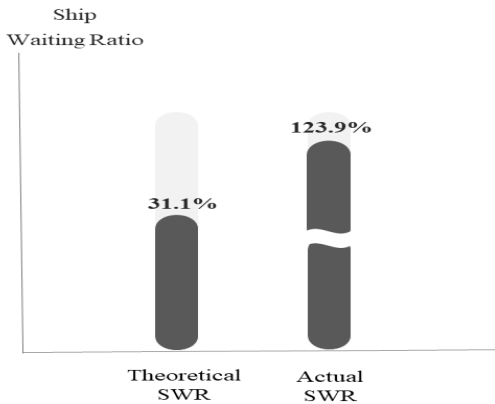


그림 8. 이론적 대기율과 실제 대기율

자료 : 저자 분석 결과.  
주) SWR, Ship Waiting Ratio

이론과 실제 선박대기율의 차이는 특정요일에 많은 선박이 입항하기 때문인 것으로 추정되어 이를 검증하기 위해 가설을 설정한다.

- “H<sub>0</sub>1: 요일별 입항선박척수의 차이가 없다”
- “H<sub>0</sub>2: 요일별 물동량의 차이가 없다”
- “H<sub>0</sub>3: 요일별 서비스시간의 차이가 없다” 라는 귀무가설이 설정된다.

가설 검증을 위하여 3년간 요일별 입항선박척수, 물동량, 서비스시간을 조사하여 분석하였다. <표 9>

$\chi^2$  검증을 실시한 결과 3가지 귀무가설이 모두 기각되어 요일별 입항척수의 차이가 있다는 대체가설을 채택하게 된다. <표 10>

표 9. A터미널 요일별 분석 결과

구분	입항척수 (대)	평균 물동량 (VAN)	서비스 시간 (h)	선박 도착 분포
일	1,073	1,135	11,588	베타분포
월	973	1,197	10,995	베타분포
화	1,064	1,013	10,427	베타분포
수	1,054	1,095	11,067	베타분포
목	928	1,276	11,136	베타분포
금	1,009	1,263	11,805	베타분포
토	1,013	1,386	12,460	베타분포
평균	1,016	1,195	11,379	베타분포

자료 : A 터미널 TOS 자료(2014~2016), 저자 분석 결과.

표 10.  $\chi^2$ 에 의한 평균차이 검정

유형	$\chi^2$	자유도	유의수준	$\chi^2$ 검증치
입항척수	16.39	6	5%	12.59
물동량	78.99	6	5%	12.59
서비스 시간	228.82	6	5%	12.59

자료 : 저자 분석 결과.

실제 입항하는 선박을 그림으로 표현하면 일요일, 화요일, 수요일에 평균 1,016척 이상의 선박이 입항하는 것으로 나타났다. <그림 9>

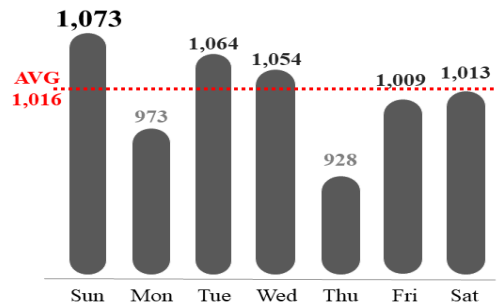


그림 9. A터미널 요일별 입항척수

자료 : A 터미널 TOS 자료(2014~2016)  
주) 입항척수는 3년간 요일별 총 입항척수임

또한, 특정 요일 입항 선박에 영향을 받아 대기 선박도 특정 요일에 높게 나타나고 있는 것으로 나타났다. 일요일 197척, 화요일 89척, 수요일 89척으로 선박이 대기한 것으로 나타나 이들이 평균대기율을 높인 것으로 추정된다. <그림 10>

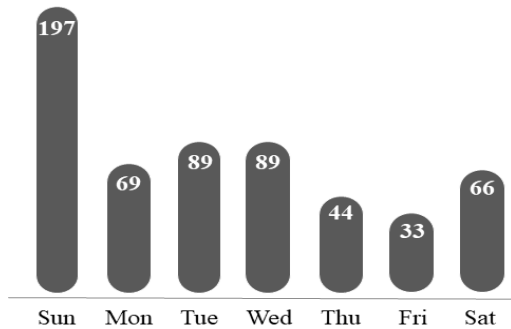


그림 10. A터미널 요일별 대기선박 수

자료 : A 터미널 TOS 자료(2014~2016).

주) 대기선박 수는 3년간 요일별 총 대기선박

## V. 결론

본 연구에서는 TOS와 Port-MIS 항만시설사용실적자료를 활용하여 실제 대기시간 및 평균대기율 산정하였다. 분석결과, 부산항 A터미널의 최근 3년간(2014~2016) 발생한 대기 척수는 총 587척이며, 월평균 16.3척의 대기선박이 발생하는 것으로 나타났다. 대기율은 123.9%를 보이고 있다. 반면, 행렬이론상의 대기율과 실제 터미널의 대기율을 비교하였으며, 점유율 70%일 때 대기행렬이론상 대기율은 31.1%이 도출되었다. 이러한 차이가 나는 이유는 항만의 특성상 입항선박이 많은 피크요일로 인한 것이라 분석된다. 이를 검증하기 위해  $\chi^2$  검증을 실시하였으며, 검증결과는 요일별 차이가 있다는 것이다. 즉, 입항 척수, 물동량, 서비스 시간 등 대기에 영향을 주는 주요 요소들이 요일별 차이가

있음을 밝혀냈다.

본 연구를 통해 밝혀낸 것은 일반적 대기행렬 이론상으로 계산된 대기율과 실제 측정된 대기율 사이에는 상당한 차이가 존재한다는 사실이다. 선박대기율은 컨테이너 터미널 서비스 수준을 측정하는 주요한 지표이므로 이를 낮추려는 노력이 필요하다. 선박의 대기율을 줄이는 방법은 여러 가지 방안이 있으나 새로운 선석을 개발하지 않고도 요일별 선박의 입항을 분산시키면 상당한 효과가 있을 것으로 나타났다.

향후 연구과제로는 다양한 선석 수의 변화를 통하여 선박대기율의 변화를 관찰하면서 그 원인을 면밀하게 분석할 필요가 있을 것이다. 항만은 우리나라에서 중요한 국가적 인프라인 만큼 정밀한 분석을 통한 대기율의 서비스지표를 관리해야만 한다. 이를 위해서는 터미널운영데이터와 항만시설사용실적자료를 관리할 수 있는 정부적 차원의 시스템 도입으로 오차범위를 최소화 시켜야할 것이다. 이를 통해 국내 항만의 질 높은 서비스 제공으로 경쟁력을 제고 할 수 있을 것으로 예상된다.

## 참고문헌

- 김창곤(2000), 컨테이너 터미널의 서비스 수준 평가지표에 대한 고찰, 한국해양수산개발원, 제15권 제1호, 39-57.
- 박병인·배종욱·박상준(2009), 선박당 평균대기비용에 의한 항만의 서비스 수준 평가, 한국항만경제학회, 제25권 제4호, 185-205.
- 박상국(2016), 컨테이너 전용부두의 최적 서비스 수준에 관한 연구, 한국항만경제학회, 제32권 제2호, 137-156.
- 백인흠(1998), 선박재항시간에 대한 분석연구, 한국수산해양교육학회, 제10권 제1호, 1-14.
- 안태훈(2015), 항만 적정하역능력의 문제점과 개선과제, 국회예산정책처, 사업평가현안분석 제57호.
- 이기열·김근섭·김은수·정무영(2015), 국내 항만의 서비스 지표 개발을 위한 항만 대기율 산정, 한국경영과학회, 학술대회논문집, 111-115.
- 이태휘(2017), 체선을 고려한 항만의 효율성 분석에 관한 연구, 한국항만경제학회, 제33권 제4호, 135-148.
- 장영태(1991), 항만에서의 선박대기시간 추정 방법론, 한국해양과학기술원, 제13권 제2호, 57-67.
- Donald Gross:John F. Shortie:James M. Thompson and Carl M. Harris,(1969), Fundamentals of queueing theory, 4th ed.
- Goss, R. O. · Mann, M. C.(1977), The Cost of Ship' s Time, Advanced in maritime Economics, Cambridge University Press.
- Little, J. D. C. (1961), A Proof for the Queuing Formula:  $L = \lambda W$ , Operations Research. 9 (3), 383~387.
- UNCTAD(1973), Berth Throughput, United Nations.
- UNCTAD(1985), Port Development, United Nations.

## 컨테이너 터미널의 이론적 대기율과 실제 대기율 비교에 관한 연구: 부산항 신항 A 터미널을 대상으로

이정훈 · 박남규

### 국문요약

컨테이너 터미널의 선박대기율에 관한 정부의 공식적 발표가 없는 상황에서 부산항 컨테이너 터미널의 선박 입항척수는 연 2.9%이상 증가하고 있다. 컨테이너 터미널의 선석 혼잡이 발생하고 있지만 실제 선박 대기율 및 평균 대기시간은 측정되지 않고 있어 터미널 운영 정책 결정에 어려움이 예상된다. 본 연구는 항만시설사용실적자료와 터미널운영데이터자료를 통해 컨테이너 터미널의 대기율을 공인된 대기시간으로 산정하고자 한다. 이를 통해 컨테이너터미널의 선박대기율 측정 방식을 제안하고 터미널의 실제 대기율과 대기행렬이론상의 대기율을 비교하여 차이가 어떻게 발생하는지를 밝혀내고자 한다. 분석결과, 부산항 A터미널의 최근 3년간(2014~2016) 발생한 대기 척수는 총 587척이며, 월평균 16.3척의 대기선박이 발생하는 것으로 나타났으며 대기율은 123.9%를 보이고 있다. 반면, 행렬이론상의 대기율과 실제 터미널의 대기율을 비교하였으며, 점유율 70%일 때 대기행렬이론상 대기율은 31.1%이 도출되었다. 이러한 차이가 나는 이유는 항만의 특성상 입항선박이 많은 피크요일로 인한 것이라 추정된다. 피크요일 시 대기척수를 조사한 결과, 일요일 197척, 화요일 89척, 수요일 89척의 선박이 대기한 것으로 나타났다.

주제어: *Queuing theory, Berth waiting Ratio, waiting time, Container terminal*