컨테이너 터미널의 서비스 수준 평가지표에 대한 고찰

An Analysis about the Service Level Indicators at the Container Terminal

김 창 곤*
Chang-Gon Kim

<목 차>

Ⅰ. 서 론
Ⅱ. 항만 대기 시스템 평가지표
Ⅲ. 서비스 수준 평가지표
Ⅳ. 서비스 수준 평가지표간의 관계
Ⅴ. 결 론

Abstract : This study aims to analyse the performance measure of the container terminal. Loading/Unloading containers at the container terminal can be seen on the viewpoint of open port queueing system. So the state of terminal varies according to the ship inter-arrival time and loading/unloading rate at the quay. The performance level of container terminal can be measured by berth utilization, annual throughput, waiting time and loading/unloading time per ship, waiting time in unit of loading/unloading time, norm-time excess ratio etc. Particularly by defining the proportion of waiting ships for berthing, the waiting time in unit of loading/unloading time, norm-time excess ratio as service level indicators of container terminal, we can analyse the relation among such service level indicators using queueing theory.

Key word : performance measure, service level indicator

* 한국해양수산개발원 책임연구원

Ⅰ. 서 론

항만은 수출입 및 국내화물 물류거점기지가 되는바, 세계 각국은 물류비 절감을 위해 항만 개발에 많은 투자를 하고 있다. 싱가포르의 경우에는 항만하역 생산성 향상으로 경쟁력을 확보하여 동남아에서의 컨테이너 환적 화물을 유치하고 있다. 뿐만 아니라 하역장비 관련 기술, 정보화 매체의 발달 및 운영 기술의 축적으로 ECT는 컨테이너 터미널을 무인자동화하여 인건비 등 운영비를 줄임으로써 경제성을 확보하고 있다. 아시아 지역에서는 한국, 싱가포르, 일본, 홍콩 등에서는 무인자동화 컨테이너 터미널에 대한 연구 개발을 가속화하고 있다.

그런데 항만 건설에 있어서 가장 먼저 제기되는 질문은 “어느 정도의 안벽 능력을 갖는 항만을 건설할 것인가?” 이다. 이러한 질문에 대한 접근을 위해서 본고에서는 항만을 개방형 대기 시스템(open queueing system)으로 구성하여, 시스템에 대한 성능 평가 척도(performance measure)를 제시하고, 특히 적정항만능력의 기준이 되는 서비스 수준 평가지표(service level indicator)를 제시하여 이들의 상호 관계를 분석한다.

항만 대기 시스템에서는 서비스를 제공하는 서버(server)는 항만 운영자, 항만을 이용하는 고객은 선사, 화주 등 이해 관련자가 있을 수 있으나, 보다 구체적이고 실체적인 분석을 위해 선박을 주요 고객으로 그리고 안벽을 서버로 간주한다. 따라서 항만 대기 시스템을 구성하는 주요 요소는 안벽과 선박으로 이루어졌으며, 대기 시스템의 공간적 범위는 선박이 항만에 도착한 순간부터 안벽에 접안하여 양·적하 작업을 완료하고 이안할 때까지로 제한한다. 따라서 본고의 전개 과정에서는 선박과 고객, 안벽과 서버, 양·적하 작업과 서비스를 혼용하여 사용하기로 한다.

Ⅱ. 항만 대기 시스템 평가지표

서론에서 제기한 “어느 정도의 안벽 능력을 갖는 항만을 건설할 것인가?”에 대한 분석을 위해 다음과 같은 두 가지 측면에서 검토할 수 있다. 첫째, 경제적인 측면에서의 최적항만능력과 둘째, 적정 서비스 수준 제공 측면에서의 적정항만능력으로 나누어 분석할 수 있다. 이때 항만능력은 안벽능력과 장치능력으로 구분할 수 있으나, 항만의 능력은 일차적으로 안벽에서의 처리 능력으로 대변할 수 있기 때문에, 본고에서는 안벽능력을 중심으로 기술한다.

본고에서 언급하고 있는 경제적 측면은 비용/편익 분석에서 이미 항만 건설의 당위성이 인정되었다는 전제 하에 비용 측면만을 소개하는 것으로 한정한다. 비용을 항만비용과 선박시간비용으로 구분하되, 먼저, 항만비용은 항만건설비 등을 포함한 고정비와 연료비, 인건비, 유지관리비 등 변동비의 합으로써 표현된다.[1)]

$FC(Q)$: 물동량이 Q일 때의 단위 톤당 고정비용
$VC(Q)$: 물동량이 Q일 때의 단위 톤당 변동비용
$PC(Q)$: 물동량이 Q일 때의 단위 톤당 항만비용

$$PC(Q) = FC(Q) + VC(Q) \tag{1}$$

또한 선박시간비용은 선박이 항만에 체제하는 시간에 따른 비용으로서, 안벽에서의 접안 시간비용과 안벽에 접안하기 전의 대기 시간비용의 합으로 식 (2)와 같다.

$WC(Q)$: 물동량이 Q일 때의 단위 톤당 선박 대기 비용
$BC(Q)$: 물동량이 Q일 때의 단위 톤당 안벽 접안 비용
$SC(Q)$: 물동량이 Q일 때의 단위 톤당 선박 비용

$$SC(Q) = WC(Q) + BC(Q) \tag{2}$$

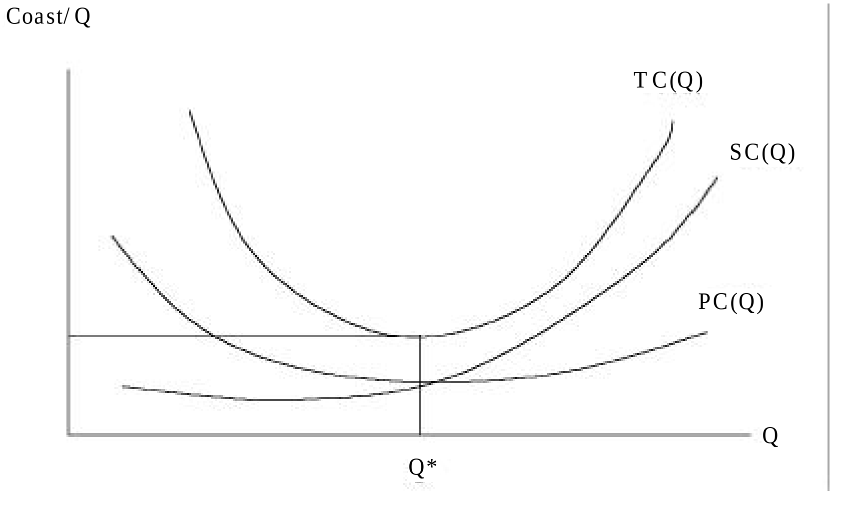
1) United Nations, *Port Development*, 1985, p.28.

따라서 물동량이 Q일 때의 단위 톤당 총비용은 식 (3)과 같다.

$TC(Q)$: 물동량이 Q일 때의 총 비용

$$TC(Q) = PC(Q) + SC(Q) \tag{3}$$

<그림-1> 항 만 비 용



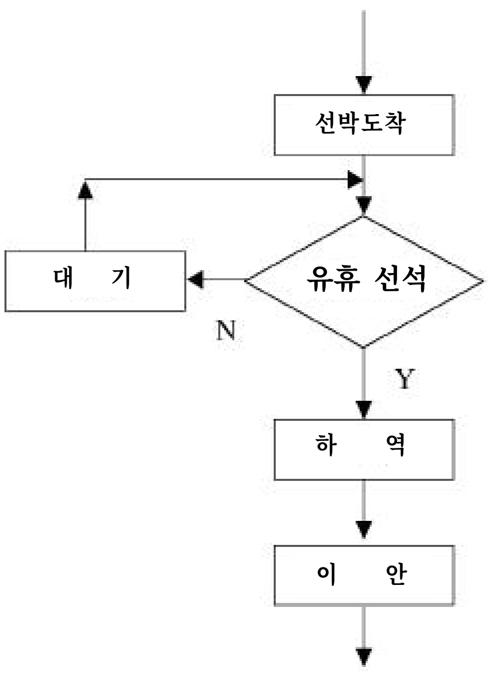
따라서 비용 측면에서 가장 경제적인 항만 규모, 즉 경제적인 최적 항만 능력은 위의 그림에서 Q^*에 위치하고 있다.

$$Q^* = Min\ \{\ TC(Q)\ \} \tag{4}$$

그러나 식 (4)와 같이 경제적인 측면에서의 안벽 능력은, 항만 운영자의 입장에서 제공하고자 하는 적정 서비스 수준에 대한 언급은 배제되었으며, 고객의 입장에서는 경제적인 측면보다는 오히려 제공받고자 하는 서비스 수준에 관심이 있다. 즉 선박이 항만에 입항하여 대기하지 않고 곧바로 접안하여 빠른 시간에 양·적하 작업을 완료한 후 출항하기를 바란다. 따라서 적정항만능력은 터미널 운영자와 고객 모두를 고려한 적정수준의 서비스를 만족하는 터미널 능력이어야 한다.

본고에서는 컨테이너 터미널의 평가지표, 특히 서비스 수준을 나타내는 여러 지표를 제시하고, 지표 상호간의 관계를 분석하는 데 주안점을 둔다. 이를 위하여 선박이 항만에 도착해서부터 출항할 때까지를 항만 대기 시스템(queueing system), 엄밀히 말하면 개방형 항만 대기 시스템(open queueing system)으로 정의하기로 한다. 개방형 항만 대기 시스템은 다음과 같은 흐름을 갖는다.

<그림-2> 개방형 항만 대기 시스템



이러한 항만 대기 시스템과 관련하여 UN에서 언급하고 있는 평가지표[2]는 산출량(throughput), 선석점유율(berth occupancy rate), 선박체항시간(ship turn round time), 선박생산성과 선박대기시간 비율(waiting time in unit of service time) 등이 있다.

2) - United Nations, *Berth Throughput*(Sysmatic methods for improving general cargo operations), 1973, p.25
- United Nations, *Port Development*, 1985, p.30

ⅰ) 산출량

산출량은 안벽 단위 길이당 양·적하 물동량으로서 터미널 운영자의 입장에서 주요 관심 사항이다.

TQ : 단위 안벽 길이당 연간 산출량
Q : 연간 총 물동량
L : 안벽 총길이

$$TQ = Q/L \tag{5}$$

ⅱ) 선석점유율

선석점유율은 총시간에 대한 선석점유시간 비율로서 선석이용률을 나타낸다. UN에서는 선석점유율과 관련하여 다음과 같이 세 가지로 분류하여 정의하고 있으며, 일반적으로는 총 선석 시간에 대한 선석에서의 총 선박정박시간을 안벽점유율로 사용하고 있다.

순작업시간 점유율 = 선석 작업시간 / 정상적인 선석 작업시간
순선석 점유율 = 선석 작업시간 / 총 선석시간
총선석 점유율 = 선석 총 선박정박시간 / 총 선석시간

이와 같은 선석점유율은 대기시스템에 대한 전반적인 이용률 평가 지표로서 제시되고 있으며, 이는 시스템의 대기시간, 고객 대기율 등 전반적인 현황을 예상할 수 있는 지표이다. 따라서 서버의 입장에서는 높은 점유율로 터미널의 이용률을 높이려 하나 적정 이상의 점유율은 고객이 대기할 확률이 증가하고, 한편 고객의 입장에서는 서버가 낮은 점유율을 유지하면서 선박이 항만 도착 즉시 양·적하 서비스를 받기 원한다.[3)]

3) 안벽에서 선석의 수심 등 선석간 조건이 서로 다른 경우에는 선석 구분의 의미가 있지만, 각 선석의 조건이 모두 같다면 원칙적으로는 선석 구분은 의미가 없으며, 실제 운영상에서는 두 대 이상의 소형 선석이 동시에 한 선석을 점유하는 경우도 있게 됨. 그러나 대기이론에서는 원칙적으로 임의의 순간에 하나의 서버에는 하나의 고객만이 점유할 수 있다고 가정하고 있기 때문에, 대기이론에서 정의한 선석점유율과 실제 운영상의 선석점유율과는 차이가 있을 수 있음을 인지하여야 함.

iii) 선박 체항시간

선박 체항시간은 항만에 도착한 선박이 접안 대기 및 안벽에서의 양·적하 시간을 포함하여 항만에 체제한 총 시간을 말한다

선박 체항시간 = 접안 대기시간 + 양·적하 작업시간 (6)

iv) 선박생산성

선박생산성(ship productivity)은 단위 시간당 양·적하 생산성으로서 고객의 입장에서는 높은 생산성을 요구하여 양·적하 작업이 빨리 끝나기를 바란다.

선박 생산성 = 선박별 작업량 / 선박별 양·적하 작업 시간 (7)

v) 선박 대기시간 비율

선박 대기시간 비율[4]은 항만에 도착한 선박이 서비스를 받기 위해 대기하는 시간을 서비스 시간 단위로 표현한 것으로서, 기대 서비스 시간에 대한 상대적 대기시간 비율을 나타낸다.

선박 대기시간 비율 = 평균 대기시간 / 평균 양·적하 작업시간 (8)

위와 같은 UN에서 제기한 항만 대기 시스템 평가지표와 더불어 제기될 수 있는 평가지표는 vi)대기 선박 척수 비율, vii)안벽 점유길이 시간 비율, viii)선박별 양·적하 생산성에 의한 Norm-time 초과 비율 등이 있다.

식 (9)와 같이 정의된 대기선박 척수 비율은 총 도착 선박수에 대해서 선박 도착 순간 유휴선석이 없어 대기하는 선박수의 비율을 나타내고, 최대 안벽 점유길이 시간 비율은 주어진 안벽 점유길이에 대해서 총 시스템 시간 동안 최대로 안벽을 점유하고 있는 시간 비율을 말한다.

4) 선박대기시간 비율은 Waiting Time Factor로도 인용되고 있으며, 국내의 항만개발 규모를 산정할 때 많은 보고서에서 적용되고 있음.

Norm-time은 선박별 양·적하량을 목표 선박 생산성으로 나눈 것으로서 정상적인 상태에서의 선박별 양·적하 시간 기준을 말한다.

$$\text{대기선박 척수 비율} = \text{대기선박 수} / \text{총 도착 선박수} \quad (9)$$

$$\text{안벽 점유 길이 시간 비율} = \text{안벽 점유 길이 시간} / \text{총 시간} \quad (10)$$

$$Norm-time = \text{선박별 양·적하량} / \text{선박별 생산성} \quad (11)$$

위에서 제시한 컨테이너 터미널 평가 지표 중 선석 점유율, 양·적하 작업시간, 대기시간을 포함한 체항시간 지표 등은 물동량 규모, 양·적하 작업량 등 고객의 조건에 따라 차별화되기 때문에 터미널간 서비스 수준의 상대적 비교를 위한 절대적 평가지표로 사용될 수 없다. 따라서 본고에서는 선박 대기시간 비율, 대기선박 척수 비율, Norm-time 초과 비율을 컨테이너 터미널의 서비스 수준 평가 지표로 채택한다.

Ⅲ. 서비스 수준 평가 지표

선박 대기시간 비율 기준은 선박별 양·적하 작업량에 따라 서비스 시간이 증가하고 대기시간이 증가하는 것은 인정할 수 있으나, 서비스 시간에 비해서 상대적인 대기시간이 일정 시간 이상 증가하는 것은 허용하지 않겠다는 기준이다. 국내의 항만개발 규모 산정 관련 대부분의 보고서에서는 선박 대기시간 비율 10%를 서비스 수준 평가지표로 하여 터미널 규모를 산정하였다. UN에서는 경제적 조건, 즉 경제성을 고려한 항만 투자를 고려할 때는 일반적으로 선박 대기시간 비율이 30% 이내가 되도록 제안하고 있다. 국내 선사들이 운항하고 있는 주요 항만의 선박 대기시간 비율에 대한 실적 자료를 조사한 결과 다음 표와 같이 항만별·화물별로 큰 차이를 보이고 있다.

<표-1> 터미널별 화물별 선박 대기 시간 비율

화 물	국 내	국 외
컨테이너	부산 4.3%	싱가포르 1.6%, 홍콩 1.5%, 오사카 3.0%
석 탄	삼천포 9.6%, 보령 11.1%, 태안 12.0%	-
고 철	포항 10 15%, 인천 50%	시애틀항 11.1%, Camden항 6%
양 곡	31%	일본 공용부두 33%, 일본 자가부두 17%
원 목	18%	가와사키항 8%, 칭다오 15%, 뉴질랜드 4%

자료 : 해양수산부,「항만 장비 현대화 기본 계획 수립」, 1999. 8, p.VI-20.

대기선박 척수 비율은 터미널에 도착한 총 선박 중, 터미널에 도착한 순간 유휴선석이 없어 대기해야 하는 선박수의 비율로서, 선박의 입장에서는 특정 항만에 도착한 순간 바로 접안하여 양·적하 서비스를 받을 수 있는지의 여부를 평가할 수 있는 지표가 된다. 대기선박 척수 비율은 일차적으로 안벽길이 부족, 선석수 부족으로 기인하고, 이차적으로는 크레인 대수 및 생산성, 야드의 조건에 의하여 달라진다. 따라서 선석이 부족하여 선석 대기할 확률이 높으면 선박이 입항을 기피하는 요인이 된다. 1999년도에 가덕도 신항만을 설계(반자동화)한 JWD[5]는 서비스 수준 평가지표로서 대기 선박척수 비율을 적용하여 터미널 규모를 산정하였다. 즉 시뮬레이션 결과로써 대기선박 척수 비율을 제시하여 이 기준을 만족하는 소요 장비 규모, 소요 안벽길이 등을 결정하였다.

이와 같은 대기선박 척수 비율은 식 (9)와 같은 의미를 가지고 있으며, 대기 이론에서는 이를 터미널에 도착한 임의의 선박이 유휴 선석이 없어 대기해야 하는 확률로 정의한다.

Norm-time 초과 비율은 선박별 양·적하 작업량에 따른 적정 작업시간 기준을 설정하여, 이 기준을 만족하지 않는 선박 수가 일정 값 이내에서만 허용되도록 터미널 능력을 산정한다. 이때 Norm-time은 선박별 작업량에 따라 할당된 크레인 대수 및 크레인 생산성에 의하여 결정된

5) Jordan Woodman Dobson

다. 1999년도에 가덕도 신항만의 자동화 컨테이너 터미널을 설계한 KPC[6]는 Norm-time 초과 비율을 서비스 수준 평가지표로 제시하여 터미널의 규모를 산정하였다.

<표-2> KPC가 적용한 선형별 목표 생산성

선 형	양·적하 작업량		목표 생산성 (mvs/hr/ship)	Norm-time (hr)
	하 한	상 한		
Mainline A	2,000	3,000	110	22.7
Mainline B,C,D	500	2,000	85	14.7
Feeders	250	600	40	10.6
Coastal	70	160	20	5.8

주 : Norm-time은 LPC/목표 생산성

즉 Mainline A 선형의 경우 시간당 110 Moves를 목표 생산성으로 하여 Norm-time을 정하였다. 만약 양·적하 작업량이 2,500이라면 그 선박의 Norm-time은 22.7시간이 된다. 위와 같은 선형별 Norm-time 기준을 제시하여 시뮬레이션의 결과 Norm-time을 초과하는 선박이 총 선박 중 5% 이내가 되는 범위에서 터미널 규모를 선정하였다.

Ⅳ. 서비스 수준 평가지표간의 관계

앞에서 제시한 서비스 수준 평가 지표에 대해서 지표 상호간의 관계를 대기 이론을 이용하여 분석한다. 물론 선박 도착 분포, 선박별 양·적하 작업량에 따른 양적하 작업시간 분포에 따라 각각의 시스템 평가지표는 달라지지만, 평가지표들간에는 일정한 관계가 있음을 대기이론에서 제시하고 있다. 대기이론에서는 서버를 분명히 구분하여 전개하고 있기 때문에 본고에서도 안벽을 선석별로 구분하여 이를 서버로 간주한다. 즉 선석이 두 개이면 동일한 조건의 서버가 두 명인 경우로 가

6) Korea Port Consultants

정한다.

평가지표간의 관계를 분석하기 위해 선박 도착간 분포는 모수가 λ인 지수 분포, 양적하 작업 시간은 모수가(2, 2μ)인 E_2분포, 그리고 선석이 두 개인 컨테이너 터미널을 $M/E_2/2$[7] 대기 시스템으로 상정하여 서비스 수준 평가지표 상호간의 관계를 분석한다.

선박 도착 시간 간격 : 확률 변수 X
선박 서비스 시간 : 확률 변수 Y

이때 $X \quad \mathrm{Exp}(\lambda)$
$Y \quad Erlang\ (2, 2\mu)$

대기이론에서는 지수 분포 등의 마코프 특성을 이용하여 대기 시스템의 평가지표를 계산할 수 있으나, E_2, E_3, E_4, …와 같이 단계의 수가 증가할수록 대기 시스템의 상태공간(state space)이 증가하여 안정상태 확률(steady state probability)을 구하기 힘들고 따라서 관련 평가지표를 구하는 것이 어려워진다. 그러나 $M/E_2/2$ 대기 시스템의 상태 공간은 E_3, E_4, …보다는 크지 않기 때문에, 상태변수를 임의의 순간에 터미널에 존재하는 고객의 수, 즉 선박의 수로 정의하였을 때, 터미널이 안정 상태에 도달했을 때 각 상태 존재 확률을 구할 수 있다. 즉 시스템이 안정 상태에 도달했을 때 임의의 순간에 터미널에 존재하는 선박 수가 i 대일 안정상태 확률 $P(N=i)$ 를 구할 수 있으며, 이때 안정상태 확률은 선박도착률과 서비스율의 비율의 함수로 표현된다.

$P(N_t = i)$: 시점 t 에서 터미널에 선박이 i 대 존재할 확률
$P(N=i) = \lim_{t \to \infty} P(N_t = i)$: 임의의 순간에 터미널에 선박이 i 대일 확률
N_t : 시점 t 에서 터미널에 존재하는 선박 수

---

7) 대기 시스템을 Kendal 기호로 고객도착분포/서비스 시간 분포/고객수로 표현

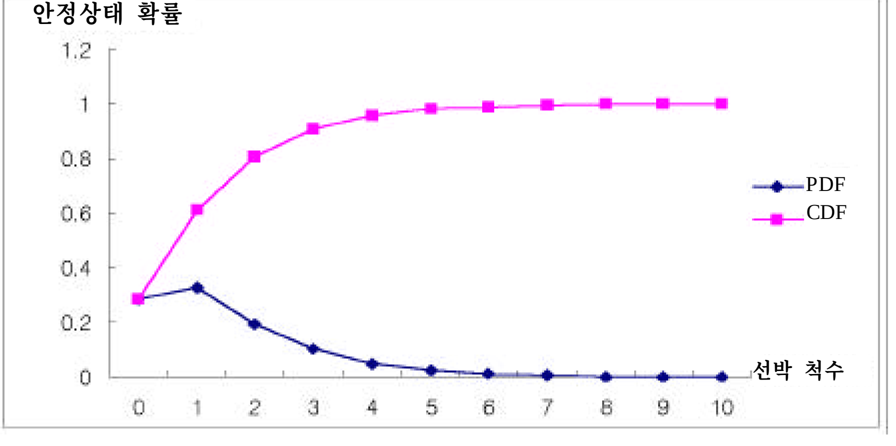
N : 시스템이 안정 상태에 도달했을 때 임의의 순간에 터미널에 존재하는 선박 수

$M/E_2/2$ 시스템의 선석 점유율이 55%일 때를 기준으로 한 안정상태 확률은 다음과 같다.

<표-3> $M/E_2/2$ 시스템의 안정상태 확률

선박척수(N)	$P(N=i)$	CDF
0	0.287591	0.287591
1	0.324818	0.612409
2	0.195203	0.807612
3	0.100522	0.908134
4	0.048766	0.956900
5	0.023045	0.979945
6	0.010759	0.990705
7	0.004995	0.995699
8	0.002313	0.998012
9	0.001069	0.999082
10	0.000494	0.999576

<그림-3> $M/E_2/2$ 시스템의 안정상태 확률



위와 같은 안정상태 확률에 의하여 임의의 순간에 터미널에 선박이 한 대도 존재하지 않을 안정상태 확률은 28%, **한 대가 존재할 확률은** 32%**로 증가하다가 두 대가 존재할 확률은** 19%**로 감소한다. 따라서 임의의 선박이 도착 순간 선석이 부족하여 대기할 확률은, 선석이 두 개이므로 터미널에 두 대 이상의 선박이 존재할 확률로서 다음과 같이 표현된다.**

$$\text{대기 확률} = \sum_{i \geq 2} P(N=i) = 1 - \sum_{i=0}^{1} P(N=i) \qquad (12)$$

$$= 0.3876$$

즉 식 (12)**는 대기이론에 의하여 구한 결과이고, 만약 이를 시뮬레이션을 하여 분석한다면 식** (9)**와 같은 방법으로 구할 수 있다. 그리고** $M/E_2/2$ **대기 시스템에 대한 접안대기 선박수는 대기이론에서 가장 간단한** $M/M/n$ **대기 시스템에서의 접안대기 선박수를 구하고, 선석 점유율의 함수로 표현된 식**(13)**을 이용하여 구할 수 있다.**[8]

$$L_q(k=2) \quad [1+\frac{1}{12}(\frac{k-1}{k+1})(n-1)^{2/3}$$

$$((1-\rho)+(1-\rho)^2)]\frac{k+1}{2k}L_q(k=1) \qquad (13)$$

여기서 $L_q(k)$: $M/E_k/2$ **대기 시스템의 대기 고객 수,**

ρ : **선석점유율** $= \frac{\lambda}{2\mu}$

위 식을 살펴보면 접안대기 선박수는 도착률과 서비스율의 비율, 즉 선석점유율 ρ **의** 2**차 함수로 표현됨을 알 수 있다. 위와 같이 평균 대기 선박수가 구해지면** Little**의 공식**[9]**에 의하여 평균 선박 대기 시간은 식** (14)**과 같이 구할 수 있다.**

---

8) Frederick S. Hiller, Oliver S. Yu, *Queueing Tables and Graphics*, p.23.

9) $L_q = \lambda W_q$, λ= 고객도착률, L_q= 대기고객수, W_q= 대기시간

$$W_q(k=2) = \frac{L_q(k=2)}{\lambda} \quad (14)$$

여기서

$W_q(k=i)$: 선석이 i 개일 때의 평균 선박 대기 시간

위와 같이 평균 대기 시간이 구해지면 기존의 보고서에서 서비스 수준 평가 지표로 제시한 선박 대기시간 비율은 식 (15)와 같다.

$$\frac{W_q(k=2)}{\frac{1}{\mu}} = \frac{L_q(k=2)}{2\rho} \quad (15)$$

대기선박 수와 마찬가지로 대기시간 비율도 식 (15)와 같이 선석 점유율과 선석 수에 따라 변함을 알 수 있다.

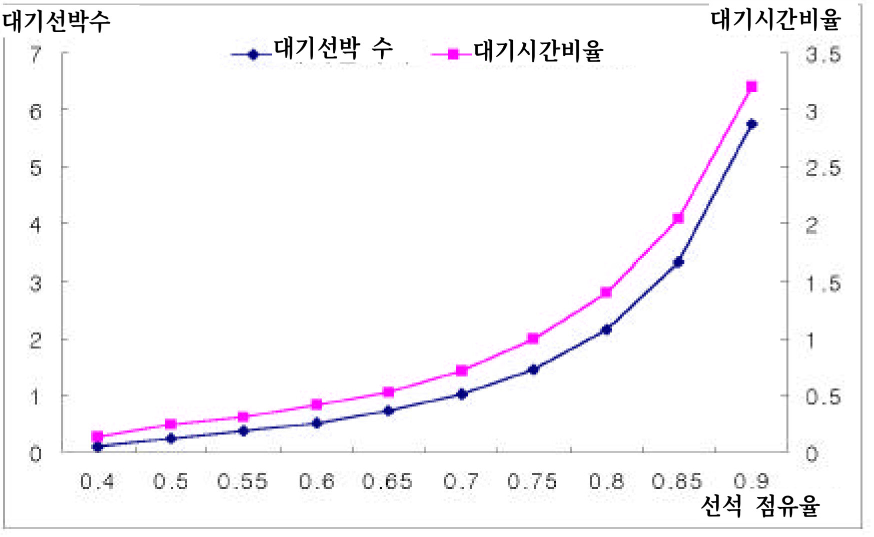
이와 같은 선석 점유율, 대기 선박수 및 선박 대기시간 비율의 상호관계를 다음 표와 그림을 통해 살펴보면, 선석점유율이 증가함에 따라 대기 선박수와 대기시간 비율이 증가하고 있으며, 특히 점유율이 75% 이상이 되면 대기 시간이 양·적하 서비스 시간보다 상대적으로 큼을 알 수 있다.

<표-4> 선석점유율과 대기시간 비율

선석점유율	대기선박 수	대기시간 비율
0.40	0.11772	0.14
0.50	0.25564	0.24
0.55	0.36470	0.31
0.60	0.51451	0.42
0.65	0.72305	0.53
0.70	1.02000	0.72
0.75	1.45930	1.00
0.80	2.14780	1.40
0.85	3.33580	2.05
0.90	5.77320	3.20

주 : $M/E_2/2$

<그림-4> 선석점유율과 대기시간 비율



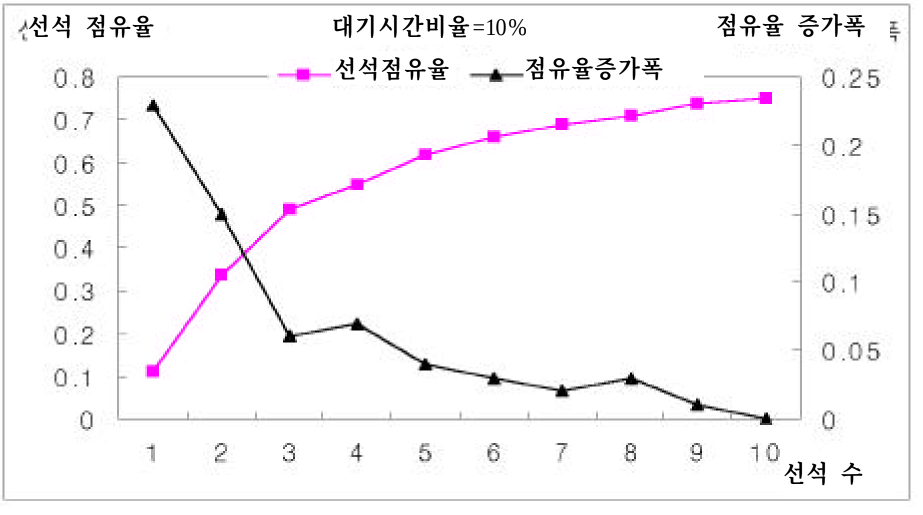
그러나 선박 대기시간 비율에 의한 서비스 수준은, 일정한 대기시간에 대해서 서비스 시간이 증가하는 경우 대기시간 비율이 감소하고, 따라서 서비스 수준이 증가한다는 모순점을 내재하고 있다. 즉 대기 시간 $W_q(k=2)$이 일정할 때, 양적하 서비스 시간 $1/\mu$ 이 증가함에도 불구하고, 대기시간 비율 $\frac{W_q(k=2)}{1/\mu}$ 은 감소하여 서비스 수준은 증가한다는 모순된 결과가 유추될 수 있다.

그리고 $M/E_2/2$ 대기 시스템에서 대기시간 비율 10%를 기준으로 선석수 증가에 따른 선석점유율 증가를 살펴보면 1선석에서 2선석으로 증가할 때 선석점유율이 가장 큰 폭으로 증가하고, 점점 증가폭이 둔화되는 것을 알 수 있다. 이는 일정 대기시간 비율을 기준으로 하여 터미널을 건설할 때는 적어도 두 선석 이상을 건설하는 것이 터미널 이용률 측면에서 경제적임을 알 수 있다.

<표-5> 선석수에 따른 점유율 증가폭

선 석 수	선석점유율	증 감 폭
1	0.11	0.23
2	0.34	0.15
3	0.49	0.06
4	0.55	0.07
5	0.62	0.04
6	0.66	0.03
7	0.69	0.02
8	0.71	0.03
9	0.74	0.01
10	0.75	0

<그림-5> 선석수에 따른 점유율 증가폭



위와 같은 대기이론에 근거하여 선박 대기시간 비율과 식 (12)와 같이 계산된 선박 대기확률과의 관계를 $M/E_2/2$ 시스템을 기준으로 살펴보

면 다음과 같다. $M/E_2/2$ 시스템에서 서비스 수준을 대기시간 비율 10%로 하였을 때의 선석 점유율은 34%이고, 이때의 선박 대기확률은 17.31%이다. 그러나 선박 대기확률 5%를 서비스 기준으로 하였을 때의 선석 점유율은 16.63%이다. 따라서 $M/E_2/2$ 시스템에서 선박 대기확률 기준 5%가 선박 대기시간 비율 기준 10%보다 엄한 서비스 수준임을 알 수 있다.10)

이상에서 살펴본 선석점유율, 대기시간 비율, 선박대기 확률 등은 대기 이론적(queueing theory)으로 규명이 가능하며 또한 그들의 관계도 관련 이론에 의하여 설명이 가능하다. 그러나 또 다른 지표로 제시한 Norm-time 초과 비율은 대기 이론에서 제시하기 힘든 지표이다.

Y_i : 선박 i 의 서비스 시간

$$Norm\text{-}time \text{ 초과 비율} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} I_i}{N_0}$$

여기서 $$I_i = \begin{cases} 1 & \text{if} \quad Y_i > Norm\text{-}time \\ 0 & \text{if} \quad Y_i \leq Norm\text{-}time \end{cases}$$

N_0 : 총 도착 선박 수

따라서 이와 같이 계산되는 Norm-time 초과 비율은 시뮬레이션을 통한 터미널 설계 및 분석시 시뮬레이션 결과로 제시함으로써 평가할 수 있는 서비스 수준 지표이다.

이와 같이 선박 대기시간 비율, 선박대기 확률, Norm-time 초과 비율과 같은 서로 다른 서비스 수준 지표에 의하여 산정된 안벽능력은 서로 일치할 수 없다. 따라서 이러한 세 종류의 지표를 동시에 고려하여 적정 안벽능력을 산정할 필요가 있다.

10) Frederick S. Hiller, Oliver S. Yu, *Queueing Tables and Graphics*, p.54.

V. 결　　론

본고에서는 선박 대기시간 비율, 선박대기 확률, Norm-time 초과 비율을 컨테이너 터미널의 서비스 수준 평가지표로 제시하고 이들의 상호관계를 대기이론을 이용하여 분석하였다. 특히 서로 다른 지표에 의하여 산정된 컨테이너 터미널의 안벽능력은 서로 다른 결론이 유추되기 때문에, 서비스 수준 지표를 결정할 때는 신중을 기하여야 한다.

물론 산출량, 선석점유율, 선박 체항시간, 선박생산성 등도 터미널의 서비스 수준을 간접적으로 예상할 수 있는 지표로서 이용될 수 있으나, 고객이 자신의 입장에서 직접적이고 객관적으로 평가할 수 있는 지표는 아니기 때문에 본고에서는 서비스 수준 평가 지표로서는 이들을 배제하였다.

컨테이너 터미널은 엄밀히 개방형 대기 시스템(open queueing system)이나 시스템의 크기가 크고 또한 선박 도착시간 분포 등 관련 시간 분포가 마코프 특성을 만족하지 않는 경우가 많기 때문에 대기이론을 이용하여 해석학적으로 문제를 푸는 것은 한계가 있다. 그러나 대기이론을 이용하여 각 변수간의 관계는 예측할 수 있으며, 본고에서도 $M/E_2/2$ 대기 시스템을 예로 들어 서비스 수준 평가지표간의 관계를 분석하였다. 그러나 각 선사는 기항지별로 정해진 요일, 정해진 시각에 운항하는 정요일 서비스에 근거하여 입항하기 때문에, 선박 도착시간 분포를 마코프 특성을 지수 분포 등으로 가정하여 서비스 기준을 설정하는 것은 비현실적인 측면이 있다. 컨테이너 터미널을 대기이론을 적용하여 분석하기 위해서는 이와 같은 비현실적인 가정을 필요로 한다. 따라서 대기 시스템을 구성하는 각 변수들의 상호 관계는 대기이론을 이용하여 분석하고, 한편으로는 시뮬레이션 기법에 의하여 비교적 현실적인 가정에 의하여 다양한 시나리오에 의한 결과를 분석함으로써 보다 엄밀한 분석이 가능해질 것이다.

참 고 문 헌

1. 김창곤, "항만에서의 물류 시스템 및 대기 모형(I) - Unloader에 의한 기계하역을 중심으로-", 「해양정책연구」, 제5권 제3/4호, 1990.
2. 김창곤, "전용부두에서의 화물 유통량을 고려한 하역능력 검토 -확률적 모형을 이용한 Simulation-", 「해양연구」, 1992.
3. 김창곤 · 장학봉 · 윤동한, "항만하역 대기 시스템에 대한 해석학적 분석", 「해양정책연구」, 제11권 제2호, 1996.
4. 김창곤 · 윤동한, "대기 네트워크 및 시뮬레이션을 이용한 전용부두에서의 하역대기 시스템 분석", 「해양연구」, Vol.17 No.2, 1995.
5. 임진수 · 박병인, 「컨테이너 터미널 능력 산정에 관한 연구」, 해운산업연구원, 1991. 12.
6. 임진수 · 신승식, 「컨테이너 터미널 하역시스템 연구」, 해운산업연구원, 1993. 12.
7. 임진수 · 이종훈 · 최상희, 「컨테이너 터미널 하역능력 산정 기준 및 적정 처리능력에 관한 연구」, 해운산업연구원, 1997. 3.
8. UN, *Berth Throughput*, 1973.
9. Page, E., Sc. B., *Queueing Theory in OR*, 1972.
10. Hiller, S. & Yu, S., *Queueing Tables and Graphs*, 1981.
11. Hoover, V. & Perry F., *Simulation-A Problem-Solving Approach*, 1990.
12. Pritsker, B., *Introduction to Simulation and SLAM II*, 1986.
13. David Kelton, W., *Simulation With ARENA*, 1998.
14. 해양수산부/한국해양수산개발원, 「항만장비 현대화 기본계획 수립」, 1999.
15. 부산신항만/Korean Port Consultants(KPC), 「Pusan Newport Terminal Planning Study」, 1998.
16. 부산신항만/Jordan Woodman Dobson(JWD), 「Pusan Newport Container Terminal Development」, 1998.