

論 文

컨테이너 터미널의 적정 안벽능력 분석에 적용되는 계수들에 대한 분석

김 창 곤*

An analysis about the coefficient used to estimate the quay
capacity at the container terminal

C. G. Kim

Key Words : 안벽능력(Quay Capacity), 안벽점유율(Berth Utilization), 가동율(Utilization), 효율(Efficiency)

Abstract

This study aims to analyse the coefficient used to estimate the quay capacity per year at the container terminal. The capacity of the container terminal is composed of the capacity at the quay side and the other working conditions at the back of the quay side. But when we refer the capacity of the container terminal, generally we used the quay capacity as that of the container terminal. To estimate the quay capacity independently of the working conditions at the back of quay side, we calculate the quay capacity as the product of working hours per year, productivity of container crane and related other coefficients, such that berth utilization, crane utilization and efficiency. So that coefficients are properly defined to reflect the other working conditions.

If we calculate the quay capacity by the product of working hours modified by the berth utilization and crane productivity modified by the crane utilization and efficiency, the meaning of that coefficients must be strictly defined. So there could be no confusion to apply that coefficients to calculate the quay capacity.

In this study, we exclusively define the meaning of the berth utilization, crane utilization and efficiency according to the internal-meaning of that in the function to calculate the quay capacity. And compare each coefficients by decomposing the working hour at the terminal.

* 정회원, 한국해양수산개발원 책임연구원

1. 서 론

본 연구에서는 컨테이너 터미널의 적정 연간 안벽능력과 관련된 계수들에 대한 분석을 주요 목적으로 한다. 컨테이너 터미널의 능력은 안벽(quay side)에서의 양·적하 능력과 장치장에서의 장치능력 및 게이트에서의 서비스 능력으로 구성되어 있는데, 각 단계의 선후 작업 조건에 따라 터미널의 능력은 달라진다. 즉 컨테이너 터미널의 능력은 컨테이너 크레인(container crane, 이하 C/C)의 양·적하 작업 생산성, 야드 트럭 등 이송장비 생산성, 야드 장치능력, 야드 크레인 등 야드 장비 생산성, 게이트에서의 트럭 통과 시간 등이 상호 연계되어 결정된다. 그러나 일반적으로 안벽에서의 양·적하 능력을 컨테이너 터미널의 능력으로 인식하여 사용되고 있으며, 따라서 적정 안벽능력을 평가한 후 이를 수용하기 위한 장치장 운영여유를 고려하여 장치장의 규모를 결정하여 왔다.

본 고에서는 기존의 컨테이너 터미널의 안벽능력 분석 방법을 살펴보고, 특히 국내 컨테이너 터미널 개발 계획 수립시, 적정 안벽능력 산정에 적용한 관련 계수들을 살펴본다. 각각의 계수가 적정 안벽능력분석에 적용됨으로써 제기되는 문제점을 분석하고 이러한 문제점을 보완하기 위하여 각 계수들의 내재된 의미에 의하여 각각을 상호 배타적으로 정의하여 보다 현실적인 안벽능력 분석이 이루어지도록 한다.

2. 안벽능력 정의

컨테이너 터미널의 능력은 안벽에서의 양·적하 능력과 장치장에서의 장치능력에 의하여 결정되는데, 각 단계의 기계적인 최대 능력은 각각 다음과 같이 정의할 수 있다. 안벽에서의 기계적인 연간 최대 능력은 C/C의 기계적인 생산성과 연간 작업 시간 및 C/C 대수에 따라 식 (1)과 같이 계산된다

([입진수,1997]).

$$Q_1 = Year \times Day \times CC_2 \times n \quad (1)$$

여기서 Q_1 : 기계적인 연간 최대 안벽능력

$Year$: 연간 작업일

Day : 일일 작업시간

CC_2 : C/C의 기계적 생산성(설계능력)

n : C/C 대수

또한 장치장의 절대적인 연간 최대 장치능력은 장치장 면적, 장치 단적수 및 연간 장치장 회전을 따라 식 (2)와 같이 계산할 수 있다.

$$Y_1 = TGS \times H_1 \times R_1 \quad (2)$$

여기서 Y_1 : 절대적인 연간 최대 장치능력

TGS : Total Ground Slot

R_1 : 장치장 회전율 = $\frac{Year}{Day_0}$

H_1 : 장치단적수

Day_0 : 무료장치일수

위와 같이 계산된 연간 최대 안벽능력 Q_1 과 연간 최대 장치능력 Y_1 은 안벽과 장치장의 상호 간섭을 배제하고 각각 독립적으로 작업할 때의 최대 생산성을 나타내고 있다. 따라서 안벽에서 이루어지는 양·적하 작업과 장치장에서의 장치작업이 상호 독립적으로 이루어진다면 터미널의 최대 능력은 식(3)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\text{터미널의 연간 최대 능력} = \text{Min} \{ Q_1, Y_1 \} \quad (3)$$

그러나 양·적하 작업과 장치작업이 상호 독립적으로 이루어지지 않고 서로 영향을 주고 받기 때문에 터미널의 최대 능력은 식 (3)과 같이 표현 할

수 없으며, 따라서 안벽능력과 장치능력을 동시에 고려한 적정 터미널 능력이 산정되어야 한다. 혼동을 피하기 위하여 터미널의 적정능력과 적정 안벽능력을 다음과 같이 정의한다.

터미널의 적정 연간능력

≡ 목표 서비스 수준을 만족하면서 터미널에서 연간 처리할 수 있는 물동량

위와 같이 정의된 터미널의 적정능력은 결국 터미널을 이용하는 고객의 입장에서는 장치장의 조건까지 고려된 능력이라고 할 수 있다. 또한 적정 안벽능력을 다음과 같이 정의한다.

적정 연간 안벽능력

≡ 목표 서비스 수준을 만족하면서 연간 안벽에서 처리할 수 있는 물동량

위와 같이 적정 안벽능력을 정의하면 이 또한 장치장의 조건까지 고려된 능력이라고 할 수 있다. 따라서 터미널의 적정 연간능력과 적정 연간 안벽능력을 각각 위와 같이 정의하면 적정 연간 안벽능력이 곧 터미널의 적정 연간능력이 되고, 또한 터미널의 적정 연간능력은 곧 적정 안벽능력에 의하여 결정된다고 귀납적으로 가정할 수 있다. 그래서 일반적으로 컨테이너 터미널의 능력을 언급할 때 장치능력보다는 안벽에서의 처리능력을 주요 관심 사항으로 언급하고 있다. 이는 또한 장치장에서의 서비스 수준 보다(예를 들면 장치일수 등), 안벽에서의 선박에 대한 서비스 수준(예를 들면 재항시간, 대기 비율 등)이 터미널을 계획하는데 주요 제약이 된다는 것을 내포하고 있다.

따라서 터미널의 연간 적정 안벽능력을 터미널의 연간 적정능력이라고 할 수 있으며, 기존의 컨

테이너 터미널 개발 계획 수립에서도 식 (4)와 같이 계산된 연간 적정 안벽능력을 컨테이너 터미널의 적정 연간능력으로 가정하였다.

$$Q_0 = [Year \times Day \times \text{안벽 점유율}]^{1)} \times [CC_2 \times \text{가동율} \times \text{효율}] \times n \times C_1 \quad (4)$$

여기서 Q_0 : 연간 적정 안벽능력

C_1 : 안벽 점유율, 가동율, 효율을 제외한 간섭계수, TEU/VAN 비율 등 관련 계수

식 (4) 와 같이 연간 적정 안벽능력이 표현된다면, 연간 작업시간 기준은 어떻게 적용할 것인가?, C/C생산성은 어떻게 정의할 것인가?, 그리고 가동율과 효율 등 관련 계수는 어떤 정의에 의하여 실측된 자료를 사용할 것인가? 에 따라 큰 차이를 보일 수 있다. 그러나 적정 안벽능력을 식 (4)와 같이 정의하여 계산하면 안벽 점유율, 가동율 및 효율의 의미는 보다 명확해진다. 즉 안벽 점유율은 연간 총 시간 중 선박이 안벽을 점유하고 있는 비율로써 정책적으로 어떤 서비스 지표에 의하여 어느 정도의 서비스를 제공할 것인가에 따라 결정할 수 있다 ([김창곤, 2000]).

그리고 가동율은 선박이 안벽을 점유하고 있는 시간 중 C/C 고장, 식사, 교대 시간 등으로 인하여 안벽작업이 지연되는 시간을 제외한 가동 시간 비율이다. 효율은 총 컨테이너 가동 시간 중 장치장 및 이동 장비의 사정 등 C/C 작업 이후의 조건에 의하여 C/C 작업이 지연되는 시간을 제외한 순 작업시간 비율을 나타낸다. 적정 안벽능력에 영향을 미치는 안벽 점유율, 가동율 및 효율에 대한 개념적 정의 및 현실적으로 적용되는 과정에서 야기될 수 있는 문제점들을 분석하고자 한다.

1) 안벽에서 선석의 수심 등 선석간 조건이 서로 다른 경우에는 선석 구분의 의미가 있지만, 각 선석의 조건이 모두 같다면 원칙적으로는 선석 구분은 의미가 없기 때문에 선석 점유율보다 안벽 점유율이 보다 현실적임. 그러나 대기이론에서는 원칙적으로 임의의 순간에 하나의 서버에는 하나의 고객만이 점유할 수 있다고 가정하고 있기 때문에, 대기 이론에서 서버를 선석별로 구분하는 선석 점유율과 안벽 점유율과는 차이가 있을 수 있음을 인지하여야 함.

3. 서비스 수준에 따른 안벽 점유율

적정 안벽능력을 분석할 때 안벽 점유율이 먼저 정의되어야 한다. 안벽 점유율은 총 시간 중 선박이 안벽을 점유하는 총 시간 비율로써 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{안벽 점유율} = \frac{\sum_i [\text{선박}i \text{의 작업시간} \times \text{선박}i \text{의 길이}]}{\text{총 안벽 길이} \times \text{총 터미널 시간}} \quad (5)$$

안벽 점유시간에는 표박지에 대기 중인 선박이 안벽에 접안하기 위하여 이동을 시작한 시작부터 양적하 작업을 완료하고 출항하기까지의 시간이다. 따라서 표박지에서 안벽까지의 이동시간(또는 접안 소요 시간)과 이안 준비시간도 안벽 점유시간에 포함된다.

안벽 점유시간 : 터미널에 도착한 선박이 접안 소요시간과 이안소요 시간을 포함하여 안벽을 점유하고 있는 시간으로써 안벽 점유율을 계산하는 기준

이러한 의미의 안벽 점유율이 적정 안벽능력을 계산할 때 먼저 정의되어야 하는데, 어떤 서비스 지표에 대해서 어느 정도의 서비스 수준을 제공할 것인가에 따라 안벽점유율이 결정된다. 컨테이너 터미널의 서비스 수준 평가지표²⁾(UN,1973,PAGE & Sc,1972)는 안벽 점유율 외에 선박별 양·적하 생산성, 선박별 양·적하 생산성에 의한 Norm-time 초과 비율, 선박 대기시간 비율(waiting time in unit of service time), 대기비율 등이 있다(KPC,1998, JWD,1998). 안벽 점유율은 서비스 수준의 직접적인 평가지표라기 보다는 선박 대기시

간 비율 또는 대기비율 기준에 의하여 결정되는 지표로써, 고객의 입장에서 터미널의 서비스수준을 예측할 수 있는 간접적인 평가지표이다. 이와 같이 안벽 점유율은 터미널에 대한 평가지표로서 제시되고 있으며, 이는 시스템의 대기시간, 고객 대기율 등 전반적인 현황을 예상할 수 있다. 따라서 서버의 입장에서는 높은 점유율로 터미널의 점유율을 높히려 하나 적정 이상의 점유율은 고객이 대기할 확률이 증가하고, 한편 고객의 입장에서는 서버가 낮은 점유율을 유지하면서 선박이 항만 도착 즉시 양·적하 서비스를 받기 원한다.

선박 생산성(ship productivity)은 단위 시간당 선박별 양·적하 생산성으로서 선박별 LPC(Lift Per Call), C/C 생산성 및 선박별 C/C 할당 대수에 따라 결정된다.

$$\begin{aligned} \text{선박별 생산성} \\ = \text{C/C 생산성} \times \text{할당 C/C 대수} \quad (6) \end{aligned}$$

따라서 고객의 입장에서는 생산성이 높은 C/C가 많이 할당되어 선박별 단위 시간당 양·적하 생산성을 향상함으로써 예정된 시각에 출항하기를 바란다. 선박별 생산성과 관련된 또 다른 지표는 선박 재항시간(sojourn time)과 Norm-time 초과 비율이 있다. 재항시간은 선박이 안벽에 접안하기 전에 표박지에서 대기하는 시간과 안벽에 접안하여 양·적하 서비스를 받는 시간으로 구성되어 있다.

$$\begin{aligned} \text{선박 재항시간} \\ = \text{접안 대기시간} + \frac{\text{LPC}}{\text{선박별 생산성}} \quad (7) \end{aligned}$$

따라서 선박별 생산성이 높으면 양·적하 시간이 감소하고 더불어 재항시간이 감소한다. 한편 Norm-time 초과 비율은 선박별 LPC에 따른 양·

2) - Berth throughput(Sysmatic methods for improving general cargo operations), UNITED NATIONS, 1973, pp.25
 - Port Development, UNITED NATIONS, 1985, pp.30

적하 시간 기준(Norm-time)을 미리 예시하여 항만의 사정에 의하여 이 시간을 초과하는 선박 수 비율이다. 선박별 Norm-time은 선박별 LPC에 따라 양·적하 작업을 완료해야 하는 시간 기준으로써, 선박별 LPC에 따라 정책적으로 할당 C/C 대수 기준에 의하여 결정된다. 그러나 터미널의 사정에 의하여 각각의 모든 선박에 대해서 정책적으로 할당할 C/C를 충분히 할당할 수 없는 경우가 발생할 수 있으며 따라서 이때는 Norm-time을 초과하게 된다.

Norm-time_i : 선박 i의 양·적하 시간 기준
 S_i : 선박 i의 실제 양·적하 시간
 N₀ : 총 도착 선박 수

F(X) : 선박의 LPC가 X 일 때 선박에 할당되어야 할 C/C 대수를 나타내는 함수

$$Norm-time_i = \frac{LPC_i}{C/C\text{ 생산성} \times F(LPC_i)} \quad (8)$$

$$S_i = \frac{LPC_i}{\text{선박별 생산성}} = \frac{LPC_i}{C/C\text{생산성} \times C/C\text{ 할당 대수}} \quad (9)$$

$$Norm-time\ \text{초과 비율} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} I_i}{N_0} \quad (10)$$

여기서

$$I_i = \begin{cases} 1 & \text{if } S_i > Norm-time_i \\ 0 & \text{e/w} \end{cases}$$

선박 대기시간은 터미널에 도착한 선박이 안벽에 접안하기 전에 묘박지에서 대기하는 시간으로써 이와 관련된 지표는 선박 대기시간 비율과 선박 대기 비율이 있다. 선박 대기시간 비율³⁾은 항만에 도착한 선박이 서비스를 받기 위해 대기하는 시간을 양·적하 시간 단위로 표현한 것으로서, 양·적하 시간에 대한 상대적 대기시간 비율을 나타낸다.

$$\text{대기시간 비율} = \frac{\text{대기시간}}{S_i} \quad (11)$$

선박 대기비율은 터미널에 도착한 총 선박 중, 도착 순간 안벽에 접안할수 없어 묘박지에서 대기해야하는 선박 수 비율을 나타낸다.

$$\text{대기비율} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} I_i}{N_0} \quad (12)$$

여기서

$$I_i = \begin{cases} 1 & \text{if 선박 } i \text{가 대기} \\ 0 & \text{e/w} \end{cases}$$

위와 같이 선박별 생산성, 재항시간, Norm-time 초과 비율, 대기시간 비율, 대기비율 등이 안벽 점유율을 산정할 수 있는 서비스 수준 평가지표로 사용될 수 있다. 이러한 지표 중 대기시간 비율 및 대기비율은 선박 도착분포와 양·적하 시간 분포가 일정한 조건을 만족하면 대기이론을 이용하여 측정할 수 있는 지표이다.

λ : 단위 시간당 평균 선박 도착율

μ : 단위 시간당 양·적하 서비스율(선박단위)

3) 선박 도착 분포 및 선박별 양적하 시간 분포가 마코프 특성을 이용하여 분석할 수 있으면, 대기이론을 이용하여 컨테이너 터미널을 분석할 수 있다. 그러나 마코프 체인을 구성하는 상태 공간의 수가 증가하면 현실적으로 대기 시스템에 대한 평가 지표를 구하는데는 한계가 있다. 대기 이론을 이용하여 시스템의 안정상태 확률을 구하는 과정은 본 논문의 한계를 벗어남으로 도출된 결과만 인용.

선박 도착분포와 양·적하 작업시간 분포가 정의되면 대기 이론을 이용하여 묘박지에 대기하고 있는 평균 선박 척수를 구할 수 있고 Little의 공식을 이용하여 묘박지에서의 평균 대기시간을 구할 수 있다⁴⁾([Leonard Kleinrock,1973, Heller&Yu, 1981]).

$P(N_t=i)$; 시점 t 에서 터미널에 선박이 i 척 존재할 확률
 $P(N=i) = \lim_{t \rightarrow \infty} P(N_t=i)$; 임의의 순간에 터미널에 선박이 i 척일 확률
 N_t : 시점 t 에서 터미널에 존재하는 선박 수
 N : 시스템이 안정 상태에 도달했을 때 임의의 순간에 터미널에 존재하는 선박 수
 n_0 : 선석 수(대기 이론에서는 서버를 구분하기 때문에 안벽 점유율 대신 선석 점유율로 정의)

이때 선박 대기시간 비율은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{대기시간 비율} &= \frac{W_q}{1/\mu} \\ &= \frac{L_q/\lambda}{1/\mu} = \frac{L_q}{n_0 \rho} \end{aligned} \tag{13}$$

여기서 W_q : 평균 대기시간

$$\rho : \text{선석 점유율} (= \frac{\lambda}{n_0 \mu})$$

따라서 선박 대기시간 비율을 서비스 수준 지표로 적용하면, 일정 대기시간 비율에 대한 적정 선석 점유율은 다음과 같이 계산 가능하다.

$$\rho = \frac{L_q}{\text{대기시간 비율} \times n_0} \tag{14}$$

그리고 터미널에 도착한 선박이 바로 안벽에 접안하지 않고 대기할 확률은 다음과 같이 계산 가능하다.

$$\begin{aligned} \text{대기 확률} &= P(N \geq n_0) \\ &= 1 - \sum_{i=0}^{n_0-1} P(N=i) \end{aligned} \tag{15}$$

그러나 경우에 따라서는 대기이론을 적용하여 컨테이너 터미널의 평가지표를 구하는 것은 현실적으로 한계가 있으므로, 안벽능력 분석을 위한 시뮬레이션 모델을 구축하여 수행함으로써 위에서 언급한 지표 외에 Norm-time 초과 비율 등 보다 다양한 지표를 측정할 수 있다([Hoover, 1990, Pritsker,1986]). 따라서 다양한 시나리오에 대해 시뮬레이션을 수행함으로써 위에서 제시한 평가 지표들을 구할 수 있고 각 지표를 만족하는 선석 점유율을 구할 수 있다.

4. 안벽점유율 · 가동율 · 효율의 관계

적정 안벽능력을 작업시간, 안벽 점유율, C/C 생산성, 가동율, 효율 등 관련 계수들의 곱으로 표현한다면, 안벽 점유율, 가동율 및 효율 각각에 내재된 의미는 명확해지고 따라서 각각을 다음과 같이 차별화하여 정의할 수 있다. 먼저 설명의 편의를 위하여 안벽길이와 모든 선박의 길이가 같다고 가정하면 식 (5)에서 정의한 안벽 점유율 다음 식 (16)과 같이 된다(시간 구성은 Fig. 1 참조).

$$\begin{aligned} \text{안벽 점유율} &= \frac{\sum_i \text{선박 } i \text{의 안벽 점유시간}}{\text{총 시간}} \\ &= \frac{T_5}{\text{Year} \times \text{Day}} \end{aligned} \tag{16}$$

4) 선박 대기시간 비율은 국내의 항만 개발 규모를 산정할 때 많은 보고서에서 서비스수준 지표로서 많이 적용되고 있음.

여기서 T_5 : 안벽점유시간

그리고 총 C/C 가동 시간은 다음과 같이 정의한다.

총 C/C 가동 시간 : C/C가 양하 작업을 위해 최초로 움직이기 시작한 시각부터 적하를 완료하고 멈출 때까지의 시간으로써, C/C 고장, 식사, 교대시간 및 안벽에서의 작업 정지 시간은 제외된다. 그러나 안벽에서 장치장까지의 이송장비나 장치장의 사정, 게이트 사정에 의하여 C/C의 작업이 지연되는 시간은 가동시간에 포함된다.

위와 같은 총 C/C 가동시간을 정의하면 선박 접안시간중 C/C 가동율은 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} \text{C/C 가동율} &= \frac{\text{총 C/C 가동 시간}}{\text{선박의 안벽 점유시간}} \\ &= \frac{T_5 - T_s}{T_5} \end{aligned} \quad (17)$$

여기서

$$T_s = \text{이접안 소요시간} + \text{C/C고장시간} + \text{식사시간} + \text{교대시간}$$

C/C 가동율을 위와 같이 정의함으로써 일반적으로 제품생산에서 언급하고 있는 가동율과는 약간의 차이를 보이고 있다. 즉 제품생산에서의 가동율은 총 시간중 기계의 가동시간 비율을 나타내고 있지만, 이런 의미의 가동율은 터미널에서는 안벽 점유율에 포함되어 있다. 따라서 컨테이너 터미널에서의 가동율은 선박이 안벽을 점유하고 있는 시간

중 C/C의 가동 시간비율로 정의하여야 한다.

주) 접안 시도: 접안을 위해 움직이기 시작한 시각
1st line(Last line) : 접안하여 bitt에 줄을 묶고 (푼) 시각

C/C start(stop) : C/C가 움직이기 시작한(멈춘) 시각

1st Unlash(Lash) : Unlashing(Lashing) 작업

1st Box(Last) : 첫 번째(마지막) Box를 양하한 (적하한) 시각

이에 비해 순 C/C 가동 시간은 다음과 같이 정의하고, 이에 근거하여 C/C의 작업효율을 정의할 수 있다.

순 C/C 가동시간 : 총 C/C 가동 시간 중 안벽에서 장치장까지의 이송장비나 장치장의 사정, 게이트 사정에 의하여 C/C의 작업이 지연되는 시간은 제외된 순 양·적하 작업시간

$$\text{C/C 작업효율} = \frac{\text{순 C/C 가동시간}}{\text{총 C/C 가동시간}} \quad (18)$$

즉 C/C 작업효율은 C/C 이후의 사정에 의하여 작업이 지연되는 시간은 제외한 순 가동시간 비율이다. 따라서 총 C/C 가동 시간 중, 안벽에서 장치장까지의 이송장비나 장치장의 사정, 게이트 사정 등 C/C 이후 사정에 의하여 C/C 작업이 지연되는 비율은 다음과 같다.

$$\text{C/C작업 지연비율} = 1 - \text{C/C작업효율} \quad (19)$$

따라서 위와 같은 개념에 의하여 총 시간 중 안벽 점유율, 가동율, 효율에 의미를 살펴보면 다음과 같다.

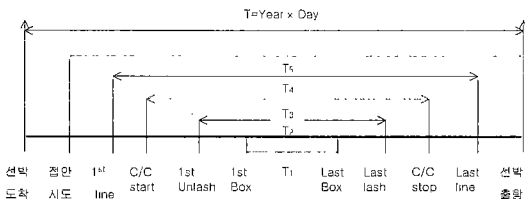


Fig. 1 Terminal time decomposition

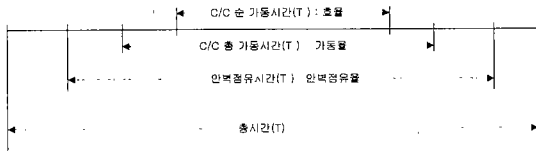


Fig. 2 Relationship between berth utilization, C/C utilization and C/C efficiency

결국 Fig.2 와 같이 안벽 점유율, C/C 가동율 및 C/C 작업효율이 상호 배타적으로 정의되어야만 적정 안벽능력을 식 (20)과 같이 표현할 수 있다.

적정 안벽능력

$$\begin{aligned}
 &= [Year \times Day \times \frac{T_5}{T}] \times CC_2 \\
 &\times \frac{T_5 - T_s}{T_5} \times \frac{\text{순 C/C 가동시간}}{T_5 - T_s} \times n \\
 &= CC_2 \times \text{순 C/C 가동시간} \times n \quad (20)
 \end{aligned}$$

식 (20)에 내포된 구체적 의미는 다음과 같다. 먼저 접안 소요시간과 이안 소요시간을 포함한 선박의 안벽 점유시간 동안에는 C/C는 기계적 생산성 CC_2 에서 대해서 가동율과 효율을 고려하여 다음과 같은 생산성으로 양·적화 작업을 한다.

$$\begin{aligned}
 &\text{안벽 점유시간 동안의 시간당 C/C 생산성} \\
 &= CC_2 \times \frac{T_5 - T_s}{T_5} \times \frac{\text{C/C 순 가동시간}}{T_5 - T_s} \times n \\
 &= CC_2 \times \frac{\text{C/C 순 가동시간}}{T_5} \times n \quad (21)
 \end{aligned}$$

그리고 총 C/C 가동시간 동안에는 이동 장비 및 장치장의 사정에 의하여 지연되기 때문에 다음과 같은 생산성으로 양·적화 작업이 이루어 진다.

$$\begin{aligned}
 &\text{총 C/C 가동시간 동안의 시간당 생산성} \\
 &= CC_2 \times \frac{\text{순 C/C 가동시간}}{T_5 - T_s} \times n \quad (22)
 \end{aligned}$$

이상과 같이 안벽 점유율, 가동율 및 효율의 의미를 상호 배타적으로 명확히 정의함으로써 기존

의 방법에 의하여 계산된 적정 안벽능력이 현실적 의미가 있다. 따라서 이들 각각의 구체적인 값은 터미널의 실제 상황을 반영할 수 있어야 한다. 즉 컨테이너 터미널에서 발표되는 C/C 가동율 및 효율이 결과적으로 식 (22)와 같이 계산되는 적정 안벽능력에 적용되도록 명확히 정의된 근거에 의하여 추출되었는지를 분명히 하여야 한다. 따라서 각 터미널에서 발표하는 가동율 및 효율이 식 (22)에 의한 적정 안벽능력 계산식에 부합되지 않게 추출되었다면 적정 안벽능력 산정에 인용될 수 없다.

5. 결 론

컨테이너 터미널의 능력은 안벽에서의 양·적화 능력, 이송장비의 생산성, 장치장 조건 및 게이트에서의 조건에 따라 달라진다. 안벽, 장치장, 게이트에서의 작업조건 및 각 단계를 이동하는 이송장비 중 어느 한 단계에 문제가 발생하면 터미널 능력에 지장을 초래하게 된다. 따라서 안벽, 이송장비, 장치장 및 게이트를 동시에 고려하여 컨테이너 터미널의 능력을 분석하여야 한다. 그러나 컨테이너 터미널의 장기적인 개발 기본 계획을 수립할 때는 안벽, 장치장 및 게이트 모두를 고려하여 터미널 능력을 분석하는데는 한계가 있다. 따라서 안벽 이후의 조건을 간접적으로 고려한 연간 적정 안벽능력을 먼저 분석하고 이에 따른 장치장 소요 규모를 분석하였다. 이때 안벽에서의 적정 능력을 장치장과 구분하여 독립적으로 분석하고자 할 때는 안벽 이후의 작업 조건을 적절히 반영할 수 있는 효율 등 관련 계수를 조정하여야 한다. 안벽능력이 작업시간, C/C 생산성 및 안벽 점유율, 가동율, 효율 등 관련 계수들의 곱의 형태로 표현된다는 전제에서 안벽 점유율, 가동율, 효율의 의미가 상호 배타적으로 분명히 정의되어야 한다. 또한 터미널의 실제 운영실적 자료에 의해 추출된 가동율 및 효율을 적정 안벽능력 산정에 적용하기 위해서는 각각의 의미를 명확히 하여 분석하여야 한다. 마찬가지로 컨

테이너 터미널을 운영하는 운영주체에서 발표하는 가동률 및 효율을 적정 안벽능력 산정에 이용할 때는 각각의 자료가 어떻게 추출되었는지를 분명히 파악한 다음 적용되어야 한다.

참고문헌

- 1) Leonard Kleinrock, "Queueing systems", Volume I; Theory, 1975 Throughput", 1973.
- 2) Peter G. Harrison & Naresh M. Patel, "Performance modelling of communication networks and Computer architectures", 1993.
- 3) Bard Y, "Some extensions to multiclass queueing analysis", 1974.
- 4) Gordon W & Newell G.F., "Closed queueing systems with exponential servers", Operations research 15(2), 254-265, 1967.
- 5) UN, " Berth Throughput", 1973.
- 6) PAGE. E, Sc. B, "Queueing Theory in OR", 1972.
- 7) Hiller.S & Yu.S, "Queueing Tables and Graphs", 1981.
- 8) Hoover.V & Perry.F, "SIMULATION -A Problem-Solving Approach-",1990.
- 9) Pritsker.B, "Introduction to Simulation and SLAM II", 1986.
- 10) Korean Port Consultants(KPC), "Pusan Newport Terminal Planning Study", 부산 신항만, 1998.
- 11) Jordan Woodman Dobson(JWD), "Pusan Newport Container Terminal Development", 부산 신항만, 1998.
- 12) 김창곤, "컨테이너 터미널의 서비스 수준 평가 지표에 관한 고찰", 해양정책연구, 제15권 제1호, 2000.
- 13) 김창곤, 장학봉, 윤동한, "항만 하역 대기 시스템에 대한 해석학적 분석", 해양정책연구, 제11권, 제2호, 1996.
- 14) 김창곤, 윤동한, "대기 네트워크 및 시뮬레이션을 이용한 전용 부두에서의 하역대기 시스템 분석", 해양 연구, Vol. 17, No. 2, 1995.
- 15) 허윤수 · 하원익 · 정승호, "부산항 컨테이너 전용터미널 운영개선을 위한 연구", 한국항만학회지, 제14권, 제1호, 2000.
- 16) 임진수, 박병인, "컨테이너 터미널 능력 산정에 관한 연구", KMI, 1991. 12.
- 17) 임진수, 신승식, "컨테이너 터미널 하역시스템 연구", KMI, 1993.12.
- 18) 임진수, 이종훈, 최상희, "컨테이너 터미널 하역능력 산정 기준 및 적정 처리능력에 관한 연구", KMI, 1997. 3.
- 19) "전국 항만 적정하역능력 산정", KMI, 1998.7
- 20) KMI, "항만장비 현대화 기본계획 수립", 해양수산부, 1999.