한국항해항만학회 제30권 제2호 추계학술대회논문집 pp. 261~267, 2006. 12

본선 작업물량의 변동을 고려한 컨테이너터미널의 소요장치량 산정

배종욱* · 박병인**

*, **전남대학교 물류학전공

Estimating the required storage inventory of a container terminal considering the variance of a containership's load size

*Jong-Wook Bae** · *Byung In Park***

*, ***Department of Logistics, Chonnam National University, Chonnam 550-749, Korea*

요 약 : 소요장치량은 컨테이너터미널의 장치능력을 결정짓는 매우 중요한 의사결정 변수이다. 일반적으로 소요장치량은 모선의 배선간격, 장치허용기간, 본선작업시간 등 여러 요인들에 좌우된다. 그러나 지금까지는 이들 요인이 확정적이라는 가정 하에 다양한 방법들을 소요장치량 산정에 적용해왔다. 본 연구는 본선작업 물량이 확률적인 것으로 가정하고 서비스수준을 만족시키는 소요장치량의 산정 방법을 제시했다. 시뮬레이션을 이용한 수치실험은 제시된 방법이 다른 방법들에 비해 확률적 상황에서 더욱 정확한 소요장치량을 산정할 수 있음을 보여주었다.

핵심용어: 컨테이너터미널, 소요장치량, 본선작업 물량, 서비스수준, 확률적 상황

ABSTRACT : *The required storage inventory is a very important decision variable which determines the storage capacity of a container terminal. Generally, the required storage inventory is dependent upon such factors as ship headway, allowable dwell time of containers, loading/unloading time per ship, and so on. Until now, the required storage inventory is estimated under the assumption that the factors are deterministic in several studies. However, this study proposes how to estimate a required storage inventory satisfying the required service level under the assumption that a containership's load size is probabilistic. Numerical experiments, which use a simulation show that the proposed method can estimate more adequately the maximum storage inventory than other methods under a probabilistic environment.*

KEY WORDS : *container terminal, required storage inventory, containership's load size, service level, probabilistic environment*

1. 서 론

컨테이너터미널의 장치장은 육상과 해상의 연계 수송 과정에서 운송수단의 전환을 용이하게 하기 위해 접안시설에 인접하여 단기간동안 컨테이너 화물을 보관하는 주요 시설물이다. 이때 장치장의 장치능력은 컨테이너 물량이 일시적으로 최대화될 때를 가정하여 이를 수용할 수 있는 능력을 의미한다.

본 연구는 장치능력을 산정할 때 고려하는 장치량을 일시적인 시점에 최대로 요구되는 장치량이라는 의미로 소요장치량(required storage inventory)이라 정의한다. 이는 컨테이너터미널의 개발 및 운영에서 요구되는 장치능력의 산정에 매우 중요한 의사결정변수이다. 그리고 장치능력은 Sauerbier와 Meurn (1985)이 언급하였듯이 컨테이너터미널의 설계나 계획과정에서 처리능력을 대표하는 평가지표의 하나이며, 터미널 운영과정에서 다양한 장치전략 선정의 기준으로도 활용된다.

운영 환경에 따라 소요장치량에 대한 영향 요인들 간에 중요도가 다르다. 따라서 본 연구는 컨테이너터미널의 취급 화물 중에서 가장 비중이 높은 일반 수출입 컨테이너를 대상으로 소요장치량의 산정 방안을 다루고자 한다.

기존 연구는 확정적 방법과 확률적 방법으로 구분된다. 확정적 모형중 대표적인 것은 Dally와 Maquire(1983), UNCTAD(1985) 그리고 Frankel(1987) 등이 제안한 회전수의 개념을 적용한 것이다. 이는 컨테이너선 입항에 따른 소요장치량의 증감을 고려하지 않고 평균 장치량을 고려한다. 그러나 실제 장치량은 본선

* 정회원, jwbae@chonnam.ac.kr

** 대표저자 : 박병인(정회원), bipark@chonnam.ac.kr

작업과 반출입작업을 통해 변화되기 때문에 연간 물동량 외에도 입항 선박의 도착간격 및 선형, 무료장치기간 그리고 본선하역 작업시간 등이 소요장치량에 영향을 미친다. 따라서 Watanabe (2001)는 배선간격과 무료장치기간을 고려하여 증감하는 장치량의 산출방법을 제안했다. 그러나 이 연구는 하역작업시간에 대해 동일한 물량을 적용하여 소요장치량을 과다하게 산정한다. 이를 보완하기 위해 배와 김 (2002)은 장치장을 일반수출, 일반 수입, 환적으로 구분한 다음에 컨테이너선의 본선작업 주기를 기준으로 시점별 장치량의 변화를 산정하는 수리모형을 개발했다.

확정적 모형은 영향 요인들이 계획기간동안 일정하다고 가정함으로써 영향 요인이 가변적인 상황에서 장치량 변화를 반영하지 못하는 한계가 있다. 이를 해결하고자 Chung *et al.*(1988), Elizabeth(1996) 그리고 박(2005)은 영향 요인의 동적 활동을 반영한 시뮬레이션 모형을 통해 일정기간 동안의 장치량을 분석하여 소요장치량을 도출하는 연구를 수행했다. 그러나 시뮬레이션을 이용한 방법은 UNCTAD(1985)가 언급하였듯이 소요장치량의 분석에 시간과 비용이 많이 소요되고 매개변수의 통계량 수집과 운영 논리의 마련이 힘들고, 이들에 지나치게 민감하다는 단점이 있다. 따라서 신속하게 개략적인 변화를 파악해야 하는 장기개발계획 등에는 적용이 곤란하다.

본 연구의 목적은 컨테이너터미널이 지닌 특성을 반영하여 쉽게 활용할 수 있으면서도 기존 수리모형에 비해 보다 현실적인 소요장치량의 산정 방안을 제시하는 것이다. 본 연구는 여러 영향 요인 중 배선간격, 무료장치기간, 본선하역작업시간이 확정적이나 본선작업 물량은 변동을 고려하는 소요장치량 산정문제에 대해 다양한 수치실험 결과를 통해 정적 상황에서 활용되어 온 방법들과 비교함으로써 현실 적용의 타당성을 검증했다.

2장에서는 정적 상황을 가정하여 적용되어온 대표적인 세 방법들의 특징과 문제점을 살펴보고, 본선작업 물량이 정규분포를 따르는 경우를 가정할 때 주어진 서비스수준을 만족시킬 수 있는 소요장치량 산정 모형을 제시했다. 3장은 시뮬레이션의 결과를 이용하여 제안한 모형의 타당성을 검증하고 연간 물동량, 배선간격, 무료장치기간을 변화시켰을 때의 소요장치량에 대한 민감도 분석을 논의했다. 그리고 마지막 장에서는 본 연구의 결과와 추후연구를 정리했다.

2. 소요장치량 산정 모형

2.1 회전수 개념을 이용한 모형

장치장의 연간 작업일수 D_t와 평균 장치일수 D_a에서 연간 회전수를 구하여 이를 연간 물동량 A_t에 곱한 것으로 소요장치량 SI는 식(1)과 같다.

$$SI = \frac{A_t \times D_a}{D_t} \qquad (1)$$

이 식은 현재 장치장의 장치능력 산정에서 가장 일반적으로 활용되고 있지만, 컨테이너터미널의 양적하 및 반출입 특성을 고려하지 않는다. 따라서 본선작업에 의해 집중되는 장치량의 변화를 반영하지 못하는 평균 장치량을 제공한다.

2.2 배선간격과 무료장치기간을 고려한 모형

선박의 도착은 본선작업과 반출입작업을 유발시켜 장치량 증감의 원인이 되며, 선박의 배선간격과 무료장치일수는 장치량 변동과 깊은 관계가 있다. 따라서 Watanabe는 배선간격과 무료장치기간을 반영하여 식(2)를 제안했다. 이 모형에서 수출 컨테이너는 본선작업 F_e(일) 전부터 반입을 시작해서 입항 전일에 완료하고, 수입 컨테이너는 출항 익일부터 반출을 개시하여 출항 F_i(일)후 전량반출을 완료하며, 반출입률이 매일 동일한 것으로 가정했다.

$$SI = \frac{A_t}{730}\left(\frac{p(\rho+\delta+2)}{2}+1\right) \qquad (2)$$

여기서 $\rho = \frac{F_e}{p}$, $\delta = \frac{F_i}{p}$.

단, 식 (2)에서 연간 작업일수는 365일, 그리고 배선간격은 p일로 설정되었고, 선박당 평균 작업 물량과 수출입 컨테이너 물량은 각각 동일하다고 보았다.

이 모형은 회전수 개념을 이용한 방법과 비교하여 선박 입항과 무료장치기간의 영향을 반영함으로써 평균 장치량이 아닌 소요장치량을 제시했다. 그러나 접안동안의 장치량을 일정한 것으로 간주하여 양적하작업 시점의 집중적인 장치량 증가를 설명하지 못할 뿐만 아니라 일 단위의 개략적 분석을 해야 하는 단점이 있다.

2.3 작업 주기를 고려한 모형

임의의 선박과 관련된 수입 컨테이너의 장치량은 양하작업 동안 증가하다가 양하 종료 시점에 최고치에 도달한 후 반출 허용기간동안 감소한다. 반면에 적하 컨테이너는 양하 컨테이너의 장치량과 반대 과정을 거치게 된다. 이때 장치량에 영향을 미치는 요인으로는 입항 선박들의 배선간격, 본선 작업물량, 하역작업시간, 수출입 컨테이너의 무료장치기간이 있다.

입항 선박들이 동일한 배선간격, 하역작업시간 그리고 무료장치기간을 따른다고 가정할 때, 반복 형태의 작업 주기에 따라 장치량이 변동함을 알 수 있다. 따라서 배와 김 (2002)은 한 선박의 입항에서 다음 선박의 입항까지의 시간 간격을 의미하는 반복 작업주기를 이용한 소요장치량 산정모형을 제안했다.

t_0 시점에 접안한 선박은 수입 컨테이너를 선박의 양하 작업시간 T_u동안 양하작업 물량 q_u만큼 장치장에 적치한다. 여기서, t_1은 양하작업 완료 시점을 의미한다. 그리고 선박의 적하작업시간 T_l이 경과한 적하작업 완료시점 t_2 부터 컨테이너들은 무료장치기간 T_d 동안 내륙 화주에 의해 지속적으로 반출된다. 즉, 양하작업이 종료되는 t_1에 장치량은 최고점에 도달

했다가 무료장치기간동안 반출되면서 장치량은 점차적으로 감소한다. 각 선박의 무료장치기간이 되면 장치장에서 해당 선박과 관련된 수입 컨테이너의 장치량은 0이 된다. 접안선박 다음에 입항하는 선박의 접안 시점은 t_3으로 표시하고 현 접안선박의 이안 후 다음 선박의 접안까지의 간격시간은 T_b로 나타낸다. 따라서 작업 주기 T_a는 선박 입항간격시간으로 $T_u + T_l + T_b$로 정의된다.

장치량의 변화가 반복되는 작업 주기에 입항하는 선박을 기준 선박이라고 정의할 때, 기준 선박의 수입 컨테이너를 제외한 작업 주기 내에 반출되는 수입 컨테이너의 선박수 m은 $\lfloor (T_d + T_u + T_l)/T_a \rfloor$이다. 그리고 기준 선박의 이전 m번째 선박의 반출 컨테이너가 장치장에서 빠져나가는 것이 종료되는 시점 E_m은 $T_d + T_u - mT_a$이 된다.

수출 컨테이너에 대한 변화 주기에서 장치량의 증감은 수입 컨테이너와 비교하여 역순으로 진행된다. 기준 선박의 경우 접안시점으로부터 수출 화물의 반입허용기간 T_r 이전부터 t_0 이전까지 내륙 화주로부터 일정한 반입률로 들어온 수출 컨테이너는 장치장에 적재된 후 기준 선박의 양하작업이 종료되는 t_1부터 선박에 적하된다. 이때 기준 선박의 수출 컨테이너 작업량을 q_l으로 표시한다. 작업 주기 기간동안 반입되는 일반 수출 화물과 관련되는 선박수 n은 $\lceil T_r / T_a \rceil$이다. 기준 선박 이후 n번째 선박의 반입 컨테이너가 장치장에 들어오기 시작하는 시점 S_n은 $nT_a - T_r$이다.

기준 선박의 수입 컨테이너가 $t_0 < t \le t_1$일 때 장치장에 있는 물량 $w(t)$는 $\frac{Q_D}{T_u} t$이고, 기준 선박 이전 j번째 출항 선박의 수입 화물이 t시점에 장치장에 있는 물량 $g_j(t)$는 $-\frac{Q_D}{T_d}(t + T_b + (j-1)T_a) + Q_D$이다. 또한 기준 선박의 수출 컨테이너가 $t_1 < t \le t_2$일 때 장치장에 있는 물량 $z(t)$는 $-\frac{Q_L}{T_l}(t - T_u) + Q_L$이고 기준 선박 이후 i번째 입항 선박의 수출 화물이 t시점에 장치장에 있는 물량 $y_i(t)$는 $\frac{Q_L}{T_r} t + \frac{Q_L}{T_r}(T_r - iT_a)$이다. 이때 최대 장치량이 발생하는 시점은 양하작업 완료 시점 t_1으로 수입 장치량 D와 수출 장치량 L은 E_m와 S_n의 범위에 따라 식(3) - (6)과 같이 산출된다. 소요장치량은 D와 L를 합한 값이다.

$t_0 < E_m \le t_1$ 이면

$$D = w(t_1) + \sum_{j=1}^{m-1} g_j(t_1) = q_u - \frac{q_u}{T_d} m(T_u + T_b + \frac{m-1}{2} T_a - T_d) \quad (3)$$

$t_1 < E_m \le t_3$ 이면

$$D = w(t_1) + \sum_{j=1}^{m} g_j(t_1) = q_u - \frac{q_u}{T_d} m(T_u + T_b + \frac{m-1}{2} T_a - T_d) \quad (4)$$

$t_0 < S_n \le t_1$ 이면

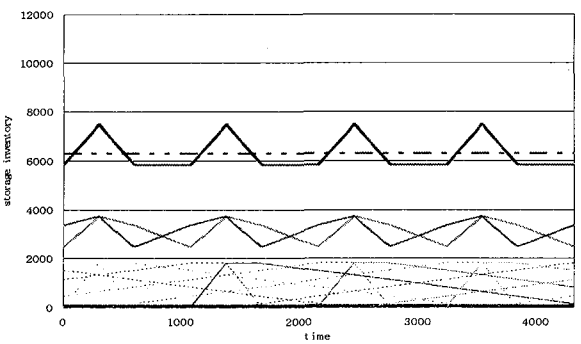
$$L = z(t_1) + \sum_{i=1}^{n} y_i(t_1) = q_l + \frac{q_l}{T_r} n(T_u + T_r) - \frac{n(n+1)}{2T_r} q_l T_a \quad (5)$$

$t_1 < S_n \le t_3$

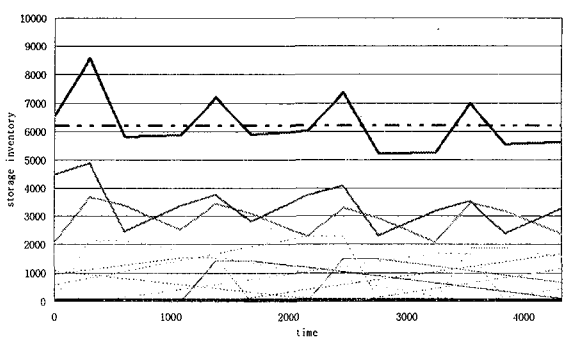
$$L = z(t_1) + \sum_{i=1}^{n-1} y_i(t_1) = q_l + \frac{q_l}{T_r}(n-1)(T_u + T_r) - \frac{n(n-1)}{2T_r} q_l T_a \quad (6)$$

이 모형은 확정적 상황에 대해서 앞의 두 모형에 비해 보다 상세하게 영향 요인들을 반영하고 있지만 영향 요인들의 변동을 고려하지 않기 때문에 현실의 동적 특성을 반영하지 못하는 한계가 있다.

2.4 본선작업 물량의 변동을 고려한 모형



(a) $D_i = 1800$, $L_i = 1800$



(b) $D_i \sim N(1800, 360^2)$, $L_i \sim N(1800, 360^2)$

Fig. 1 Storage inventory according to the variance of import/export load size

배와 김의 모형에서 소요장치량은 **Fig. 1** (a)와 같이 작업주기를 기준으로 반복적인 장치형태를 나타낸다. 그렇지만 입항 선박의 작업물량이 항상 동일할 수 없다. 작업물량에 변동이 존재

할 경우에 장치형태는 **Fig. 1** (b)와 같이 평균 장치량은 비슷하지만 시점별 소요장치량은 크게 달라진다. 여기서 D_i, L_i는 각각 모선 i의 수입 그리고 수출 물량을 의미한다. 따라서 본 절에서는 본선작업 물량이 확률변수로 추정될 때 소요장치량을 산정하는 방법을 다룬다.

일반적으로 컨테이너터미널은 기항 선박의 재항시간이 물량에 따라 크게 변동되지 않도록 하역장비, 작업인력 등의 투입 자원 규모를 유연하게 조정한다. 그리고 동일한 무료장치기간을 모든 화물에 대해 적용하고 있다.

따라서 본 모형에서는 모선별 하역작업시간과 무료장치기간이 동일하고 D_i와 L_i이 각각 $N(\mu_D, \sigma_D^2)$와 $N(\mu_L, \sigma_L^2)$인 IID (independent and identical distribution)를 따른다고 가정했다. 그러면 정규분포의 성질을 이용하여 최대 장치량이 발생하는 시점 t_1에서의 소요장치량을 쉽게 구할 수 있다.

이때 소요장치량은 전략적으로 책정되는 서비스수준에 의해 좌우되며, 서비스수준은 장기간동안 최대 장치량이 발생하는 시점을 관측할 때 소요장치량을 초과하는 최대 장치량의 비율을 의미한다. 또한 z_α는 표준정규분포표에서 서비스수준 α에 해당하는 값으로, 식(3)~(6)에서 q_u와 q_l이 각각 μ_u와 μ_l와 같다면 소요장치량 SI는 식 (7)과 같다.

$$SI = \overline{SI} + z_\alpha \sigma_{SI} \qquad (7)$$
$$= (D+L) + z_\alpha \left(\frac{D}{\mu_D}\sigma_D + \frac{L}{\mu_L}\sigma_L\right)$$

3. 수치실험

본 장에서는 제안한 모형의 검증과 확정적 모형들과의 비교를 위해 연간 물동량, 배선간격, 무료장치기간을 변화시켰을 때의 수치실험을 통해 소요장치량의 변동을 분석하여 각 모형들의 특성을 살펴보았다.

현실 자료를 통한 검증은 동일 특성을 가진 장기간의 자료를 확보해야 하기 때문에 매우 어렵다. 따라서 본 연구는 여러 영향 요인의 조정이 용이한 시뮬레이션을 통해 모형의 타당성을 확인하고자 한다.

시뮬레이션은 총 58척의 선박이 도착하는 기간동안 5번째 선박의 양하작업 완료 시점부터 55번째 선박의 양하작업 완료시점에 대한 소요장치량을 측정했다. 이때 각 시나리오에 대해서는 10회씩의 반복 실험을 실시했다.

연간 작업일수는 365일, 연간 물동량에서 수출입 컨테이너의 비율은 같고 양적하 컨테이너의 무료장치기간은 동일한 것으로 가정했다. 모형 1에서 식(1)의 D_a는 무료장치기간동안 동일한 반출입률이 적용되는 것으로 가정하여 $F_e/2$ 또는 $T_r/2$을 적용했다. 본 연구에서 제시한 산정모형의 선박 취급량은 Watanabe의 산정식에서 적용하는 단위시간을 사용하기 위해 A_t/p로 정의 했다.

Table 1은 소요장치량의 세 가지 영향 요인으로 연간 물동량, 무료장치기간 그리고 배선간격을 변화 시켰을 때의 민감도 분석 결과이다. 요인의 변동범위는 연간 물동량의 경우 20만개에서 40만개까지 매5만개씩 증가시켰고, 무료장치기간은 4일에서 7일까지 그리고 배선간격은 1일에서 5일로 정하고 양적하 작업시간은 각각 8시간씩 일정하다고 가정했다. 그리고 제안한 모형에서 수출입 작업물량의 표준편차는 각 평균의 10%로 가정하고 서비스수준 90%를 적용했을 때의 소요장치량을 산정했다.

민감도 분석결과를 보면 소요장치량은 모든 시나리오에 대해서 M 1 << M 3 < M 2, M 4, M 5의 관계가 성립함을 알 수 있다. 이는 회전수의 개념을 이용한 M 1은 배선간격과 무료장치기간을 고려한 다른 방법들에 비해 장치량이 급증하는 양하작업을 반영하지 못하기 때문이다. 즉, 연간 회전수 개념과 비교하여 배선간격과 무료장치기간을 고려할 때 선박 입항에 따른 화물 집중도의 효과를 합리적으로 표현할 수 있다. Watanabe 모형 M 2의 소요장치량이 가장 큰 이유는 양적하 작업시간의 영향 때문으로 판단된다. M 2는 일단위 기준으로 양적하 작업시간을 1일로 컨테이너 체류시간을 길게 설정하고 있다. 따라서 배선간격이 1일 미만으로 선박의 입항이 빈번한 터미널에 대한 장치량 산정에는 적합하지 않고 양적하 작업에 따른 장치량 증가의 효과를 과다하게 적용하는 문제점이 있다.

M 3는 선박당 평균 작업물량의 경우에 최대 장치량의 증가에 미치는 증가분은 적지만 선박당 평균 작업물량이 증가하게 되면 일시적인 화물 집중화에 따라 소요장치량의 증가를 보여주었다. 이는 하역작업 시간의 장치량 변화를 묘사하고 있기 때문이다. 그러나 시뮬레이션 모형과 같이 물량의 변동에 의해 발생되는 장치량의 증가는 반영하지 못해 실 소요장치량에 비해 적은 값을 제공하고 있다.

M 4는 시뮬레이션의 반복실험에서 얻은 평균 소요장치량과 최대 소요장치량에 있어 다른 모형에 비해 상대적으로 가장 근접한 소요장치량을 제시하고 있다. 일부 시나리오에서 M 2의 값이 더 근접한 경우가 있는데 이는 M 2가 확정적 상황에서 가장 높은 소요장치량을 제시하기 때문에 나타나는 현상으로 통계적으로 무시할 수 있다. 따라서 본 연구가 제시한 모형은 작업 물량의 변동을 고려하여 소요장치량을 산정하는데 적합한 것을 알 수 있다.

작업물량의 변동을 변화시켰을 때 시뮬레이션과 제안한 모형의 소요장치량을 Table 2에 정리했다. 무료장치기간이 4일이고 서비스수준은 90%로 설정했다. 변동폭에 대해서는 표준편차가 평균 작업물량의 10%, 20%, 30%인 경우로 가정했다.

기존 확정 모형에서 변동폭에 상관없이 동일한 소요장치량을 제공했다면 본 연구의 모형에서는 변동폭에 따라 시뮬레이션에 근접한 소요장치량을 제시하고 있다. 배선간격이 짧은 경우에는 최대 소요장치량과의 오차가 적었고, 배선간격이 긴 경우에는 평균 소요장치량에 가까운 결과를 제시했다. 오차는 제안 모형의 실험값을 a 그리고 시뮬레이션 실험값을 b로 할 때 $|a-b|/b$로 추정하였는데, 최대 소요장치량과의 오차는 평균 2%로 매우 우수했다.

Table 1 Sensitivity analysis of storage inventory

무료장치기간		4일						5일					
배선간격	연간 물동량	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5		M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	
						평균	최대					평균	최대
1일	20만	1095	1644	1553	1751	1673	1751	1370	1918	1826	2060	1954	2045
	25만	1369	2055	1941	2189	2096	2193	1712	2397	2283	2575	2447	2562
	30만	1643	2466	2329	2627	2513	2629	2055	2877	2739	3090	2934	3072
	35만	1917	2877	2717	3065	2935	3072	2397	3356	3196	3605	3428	3589
	40만	2191	3288	3105	3502	3352	3508	2740	3836	3652	4121	3914	4098
2일	20만	1095	1918	1826	2060	2027	2105	1370	2466	2119	2390	2331	2435
	25만	1369	2397	2283	2575	2532	2631	1712	3082	2648	2987	2913	3042
	30만	1643	2877	2740	3090	3042	3160	2055	3699	3178	3585	3499	3654
	35만	1917	3356	3196	3605	3547	3685	2397	4315	3708	4182	4081	4262
	40만	2191	3836	3653	4121	4053	4210	2740	4932	4237	4780	4663	4870
3일	20만	1095	2740	2192	2472	2474	2594	1370	2740	2411	2720	2706	2827
	25만	1369	3425	2740	3090	3094	3244	1712	3425	3014	3399	3384	3535
	30만	1643	4110	3288	3708	3710	3890	2055	4110	3616	4079	4058	4240
	35만	1917	4795	3836	4327	4330	4540	2397	4795	4219	4759	4736	4948
	40만	2191	5479	4384	4945	4947	5187	2740	5479	4822	5439	5411	5653
4일	20만	1095	2466	2374	2678	2714	2867	1370	3562	2776	3132	3135	3293
	25만	1369	3082	2968	3348	3394	3585	1712	4452	3470	3915	3920	4118
	30만	1643	3699	3562	4018	4073	4303	2055	5342	4164	4697	4705	4942
	35만	1917	4315	4155	4687	4753	5021	2397	6233	4858	5480	5491	5767
	40만	2191	4932	4749	5357	5430	5736	2740	7123	5553	6263	6273	6589
무료장치기간		6일						7일					
배선간격	연간 물동량	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5		M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	
						평균	최대					평균	최대
1일	20만	1644	2192	2100	2369	2233	2341	1917	2466	2374	2678	2511	2636
	25만	2055	2740	2626	2962	2797	2933	2397	3082	2968	3348	3145	3302
	30만	2466	3288	3151	3554	3353	3516	2876	3699	3562	4018	3771	3959
	35만	2877	3836	3676	4146	3918	4108	3356	4315	4155	4687	4405	4625
	40만	3288	4384	4201	4739	4474	4691	3836	4932	4749	5357	5031	5282
2일	20만	1644	2466	2374	2678	2598	2720	1917	3014	2661	3002	2900	3034
	25만	2055	3082	2968	3348	3246	3398	2397	3767	3327	3753	3624	3792
	30만	2466	3699	3562	4018	3900	4082	2876	4521	3992	4503	4353	4554
	35만	2877	4315	4155	4687	4548	4760	3356	5274	4658	5254	5077	5312
	40만	3288	4932	4749	5357	5196	5439	3836	6027	5323	6004	5801	6069
3일	20만	1644	2740	2648	2987	2953	3063	1917	3562	2975	3355	3294	3433
	25만	2055	3425	3311	3734	3694	3831	2397	4452	3718	4194	4119	4293
	30만	2466	4110	3973	4481	4430	4595	2876	5342	4462	5033	4940	5149
	35만	2877	4795	4635	5228	5170	5363	3356	6233	5205	5872	5766	6009
	40만	3288	5479	5297	5975	5907	6127	3836	7123	5949	6711	6587	6865
4일	20만	1644	3562	3044	3434	3416	3577	1917	3562	3235	3650	3619	3780
	25만	2055	4452	3805	4292	4271	4473	2397	4452	4044	4562	4525	4726
	30만	2466	5342	4566	5151	5127	5369	2876	5342	4853	5474	5431	5673
	35만	2877	6233	5327	6009	5982	6264	3356	6233	5662	6387	6338	6620
	40만	3288	7123	6088	6868	6835	7157	3836	7123	6471	7299	7241	7563

M 1 : model using annual turnaround
M 2 : model considering ship headway and allowable dwell time
M 3 : model considering operation cycle
M 4 : model proposed by this paper
M 5 : simulation model

Table 2 Comparison analysis between a simulation model and a proposed model

배선간격	연간 물동량	표준 편차	제안 모형	시뮬레이션			
				평균 소요장치량		최대 소요장치량	
			소요장치량	실험값	오차	실험값	오차
1일	20만	10%	1751	1673	4.7%	1751	0.0%
		20%	1950	1799	8.4%	1954	0.2%
		30%	2149	1925	11.6%	2158	0.4%
	25만	10%	2189	2096	4.4%	2193	0.2%
		20%	2437	2254	8.2%	2448	0.4%
		30%	2686	2412	11.4%	2704	0.7%
	30만	10%	2627	2513	4.5%	2629	0.1%
		20%	2925	2702	8.3%	2935	0.3%
		30%	3223	2891	11.5%	3241	0.6%
	35만	10%	3065	2935	4.4%	3072	0.2%
		20%	3412	3156	8.1%	3429	0.5%
		30%	3760	3378	11.3%	3786	0.7%
	40만	10%	3502	3352	4.5%	3508	0.2%
		20%	3900	3605	8.2%	3916	0.4%
		30%	4297	3857	11.4%	4324	0.6%
2일	20만	10%	2060	2027	1.7%	2105	2.1%
		20%	2294	2223	3.2%	2380	3.6%
		30%	2528	2420	4.5%	2656	4.8%
	25만	10%	2575	2532	1.7%	2631	2.1%
		20%	2868	2778	3.2%	2974	3.6%
		30%	3160	3024	4.5%	3318	4.8%
	30만	10%	3090	3042	1.6%	3160	2.2%
		20%	3441	3337	3.1%	3573	3.7%
		30%	3792	3632	4.4%	3986	4.9%
	35만	10%	3605	3547	1.6%	3685	2.2%
		20%	4015	3892	3.2%	4167	3.6%
		30%	4424	4236	4.4%	4648	4.8%
	40만	10%	4121	4053	1.7%	4210	2.1%
		20%	4588	4446	3.2%	4761	3.6%
		30%	5056	4840	4.5%	5311	4.8%

4. 결론 및 추후연구

본 연구는 장치장의 장치능력 산정에 필요한 소요장치량을 구하는 방법에 대한 논의했다. 기존 연구들이 소요장치량에 영향을 미치는 배선간격, 본선 하역물량, 본선작업시간 그리고 무료장치기간의 확정적 상황을 고려했다면 본 연구는 본선작업 물량이 확률적인 경우를 다루었다.

본선작업 물량은 소요장치량에 가장 민감한 요소일 뿐만 아니라 선박별 하역물량의 변동이 클수록 일정시점의 소요장치량은 크게 달라진다. 따라서 본 연구는 본선 작업주기에 따른 장치량 변화의 특성을 고려하여 작업 물량이 정규분포를 따른다고 가정한 후 서비스수준에 따라 요구되는 소요장치량의 산정방법을 제시했다.

제시한 모형의 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션에서 얻어진 장치량과 비교했다. 다양한 상황을 반영하기 위해 본선 작업물량의 표준편차를 다르게 적용했다. 비교 결과에 따르면 본 연구에서 제시한 모형은 평균 소요장치량과 최대 소요장치량에 있어 유사하였고 확정 모형의 소요장치량을 초과하는 장치량에서 유의한 범위 내에서 산정됨을 알 수 있었다.

그리고 소요장치량 산정의 영향요인인 배선간격, 본선 작업물량, 양적하 작업시간 그리고 무료장치기간을 변화시켜 여러 산정 모형의 민감도 분석을 실시했다. 본 연구가 활용한 작업주기를 고려한 산정방법은 기존에 가장 대표적으로 활용되어온 연간 회전율의 개념을 이용한 방식과 비교하여 선박 입항시의 장치량 증가를 합리적으로 설명할 수 있었다. 또한 Watanabe의 모형과 비교해서는 양적하 작업시간에 따른 장치량 증감의 효과를 설명함으로써 하역시스템의 생산성 효과를 보여줄 수 있었다. 배와 김의 연구와 차별되게 본 연구는 확률적 상황을 반영함으로써 본선 작업물량이 많은 선박들이 근접한 기간 내에 집중될 때의 영향을 반영했다.

한편, 추후에는 본 연구에서 제시한 산정모형의 타당성을 보다 현실적으로 검증하여 컨테이너터미널의 장치장 계획에 도입하기 위한 연구가 필요하다. 또한 본 연구가 고려한 본선 하역물량 외에도 배선간격, 반출입률, 양적하 작업시간 등의 불확실한

상황을 설명할 수 있는 확장된 모형의 개발과 모형의 타당성을 검증하기 위해 장기간의 현실 자료를 활용한 실증 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] 박병인(2005), 컨테이너터미널의 장치장 보관능력 평가: 시뮬레이션접근, 한국항만경제학회지, 21집, pp.59-72.

[2] 배종욱, 김기영(2002), 확정적 상황에서 컨테이너 재고량 분석을 위한 수리모형, 경영과학 , 19권, pp.13-28.

[3] Chung, Y.G., Randhawa, S. U., and McDowell, E.D. (1988), "A simulation analysis for a transtainer-based container handling facility", Computers and Industrial Engineering, Vol. 14.

[4] Dally, H. K. and Maquire, F. J. (1983), Container Handling and Terminal Capacity-Container Handling and Transport, C. S. Publications Ltd.

[5] Elizabeth, G. J.(1996), Managing Containers Marine Terminals: An Application of Intelligent Transportation Systems Technology to Intermodal Freight Transportation, Ph/D Dissertation, The University of Texas at Austin.

[6] Frankel, E. G. (1987), Port Planning and Development, John Wiley & Sons, Inc., New York.

[7] Sauerbier, C. L. and Meurn, R. J. (1985), Marine Cargo Operation, John Willey & Sons, 2nd ed.

[8] UNCTAD (1985), Port Development, United Nations, 2nd ed.

[9] Watanabe, I.(2001), Container Terminal Planning, WCN Publishing.