

본선 작업물량의 변동을 고려한 컨테이너 터미널의 장치공간 소요량 추정

배종욱* · † 박병인**

*, ** 전남대학교 물류학전공

Estimating the storage space requirement 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 : 장치공간 소요량은 컨테이너터미널의 장치능력을 결정짓는 매우 중요한 의사결정 변수이다. 일반적으로 장치공간 소요량은 모선의 배선간격, 장치허용기간, 본선작업시간 등 여러 요인들에 좌우된다. 그러나 지금까지는 이들 요인이 확정적이라는 가정 하에 다양한 방법들을 장치공간 소요량 산정에 적용해왔다. 본 연구는 본선작업 물량이 확률적인 것으로 가정하고 요구된 서비스수준을 만족시키는 장치공간 소요량의 산정 방법을 제시했다. 시뮬레이션을 이용한 수치실험은 제시된 방법이 다른 방법들에 비해 확률적 상황에서 더욱 정확한 장치공간 소요량을 산정할 수 있음을 보여주었다.

핵심용어 : 컨테이너터미널, 장치공간 소요량, 본선작업 물량, 서비스수준, 확률적 상황

Abstract : The storage space requirement is a very important decision variable which determines the storage capacity of a container terminal. Generally, the storage space requirement is dependent upon such factors as ship headway, allowable dwell time of containers, loading/unloading time per ship, and so on. Until now, the storage space requirement is estimated under the assumption that the factors are deterministic in several studies. However, this study proposes how to estimate a storage space requirement 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 storage space requirement than other methods under a probabilistic environment.

Key words : Container terminal, Storage space requirement, 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 최대 요구되는 장치량이라는 의미로 장치공간 소요량이라 정의한다. 이는 컨테이너터미널의 개발 및 운영에서 요구되는 장치능력의 산정에 매우 중요한 의사결정변수이다 (Keum, 1998). 그리고 장치능력은 Sauerbier와 Meurn (1985)이 언급하였듯이 컨테이너터미널의 설계나 계획과정에서 처리능력을 대표하는 평가지표의 하나이며, 터미널 운영과정에서 다양한 장치전략 선정의 기준으로도 활용된다.

컨테이너터미널의 장치공간 소요량은 모선의 배선간격, 장치허용기간, 본선작업시간 등 여러 요인에 좌우된다. 기존 연구는 이들 요인이 확정적이라는 가정 하에 접근하는 경우와 변동성을 반영하는 경우로 나눌 수 있다. 일반적으로 전자는 영향 요인간의 관계를 나타내는 수리모형을 통해 접근하는 확정적 방법이고 후자는 영향 요인의 동적 특성을 반영한 시뮬레이션 분석을 통해 산정하는 확률적 방법이다.

수리모형을 이용한 확정적 방법은 이용이 쉽고 요인간 영향을 파악하기 용이하지만 변동성을 반영하지 못해 장치공간 소요량과 같은 일시적인 자원의 최대 요청 규모를 파악하는 한계가 있다. 반면에 확률적 방법은 변동성이 있는 현실의 특성을 반영하기에는 유용하지만 필요한 입력자료의 내용이 많으면서 매우 구체적이기 때문에 특정 대상 또는 상황을 분석하는 데는 적합하지만 요인들의 영향을 파악하고 다양한 경우에 간단하게 적용하기 어렵다는 단점이 있다.

* 배종욱(정회원), jwbae@chonnam.ac.kr, 061)659-3352

† 교신저자 : 박병인(정회원), bipark@chonnam.ac.kr, 051)659-3351

컨테이너터미널의 장치공간 소요량은 컨테이너터미널의 장치능력 산정 외에도 상부시설 계획(최 와 하, 2005), 장치전력 수립(송 외, 2006) 등의 다양한 의사결정문제에 있어 기초 자료로 활용된다. 따라서 확률적 방법과 같이 동적 요인에 의한 최대치의 특성을 반영하면서도 확정적 방법처럼 사용이 편리하고 직관적 이해가 쉬운 수리모형의 개발이 매우 필요하다. 특히, 해운환경의 변화에 따라 입항 선박별 작업물량의 변동이 증가하면서 최대 장치량을 의미하는 장치공간 소요량 산정에서는 매우 중요하게 반영되어야 하는 요인이다.

따라서 본 연구는 컨테이너터미널이 지닌 특성을 반영하여 쉽게 활용할 수 있으면서 본선작업 물량의 변동을 고려하는 장치공간 소요량 산정 모형을 개발하고자 한다. 그리고 제시한 모형의 타당성 검증을 위해 문제에 대해 다양한 수치실험 결과를 통해 기존 산정 모형들과 비교함으로써 현실 적용의 타당성을 살펴보고자 한다.

2장에서는 장치공간 소요량 산정에 적용되어온 대표적인 네 가지 방법들의 특징과 문제점을 살펴보고 3장에서는 본선작업 물량이 정규분포를 따르는 경우를 가정할 때 주어진 서비스수준을 만족시킬 수 있는 장치공간 소요량 산정 모형을 제시하고자 한다. 4장은 시뮬레이션의 결과를 이용하여 제안한 모형의 타당성을 검증하고 연간 물동량, 배선간격, 무료장치기간을 변화시켰을 때의 장치공간 소요량에 대한 민감도 분석을 논의한다. 그리고 마지막 장에서는 본 연구의 결과와 추후연구를 정리하고자 한다.

2. 장치공간 소요량 산정을 위한 관련 연구

2.1 회전수 개념을 이용한 모형

Dally와 Maquire(1983), UNCTAD(1985), Frankel(1987) 등이 연구한 모형으로 연간 회전수의 개념을 적용하고 있다. 이는 컨테이너선 입항에 따른 장치공간 소요량의 증감을 고려하지 않고 평균 장치량을 산출하여 소요 장치량으로 산정하거나 피크계수, 계절계수 등의 집중도를 감안하여 장치공간 소요량을 산정하기도 한다.

장치공간 소요량 SI 는 장치장의 연간 작업일수 D_t 와 평균 장치일수 D_a 에서 연간 회전수를 구하여 이를 연간 물동량 A_t 에 곱한 것으로 식(1)과 같다.

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

이 식은 현재 장치장의 장치능력 산정에서 가장 일반적으로 활용되고 있다. 그러나 실제 장치공간 소요량은 본선작업과 반출입작업을 통해 변화되기 때문에 연간 물동량 외에도 입항 선박의 배선간격 및 작업물량, 장치허용기간 그리고 본선하역 작업시간 등이 장치공간 소요량에 영향을 미친다. 그러나 컨테이너터미널의 양적하 및 반출입 특성을 고려하지 않아 본선작업에 의해 집중되는 장치량의 변화를 반영하지 못하는 평균

장치량을 제공한다.

2.2 배선간격과 무료장치기간을 고려한 모형

선박 도착은 본선작업과 반출입작업을 유발시켜 장치량 증감의 원인이 되며, 선박의 배선간격과 무료장치일수는 장치량 변동과 깊은 관계가 있다. 따라서 Watanabe(2001)는 배선간격과 무료장치기간을 반영하여 장치공간 소요량을 산정하는 식(2)를 제안하였다. 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 가정하였다.

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

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

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

이 모형은 회전수 개념을 이용한 방법과 비교하여 선박 입항과 무료장치기간의 영향을 반영함으로써 연간 평균 장치량에 비해서는 보다 장치량이 집중적으로 증가하는 시점을 고려하여 장치공간 소요량을 제시했다. 그러나 점안동안의 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

회전수 개념을 이용한 모형과 배선간격과 무료장치기간을 고려한 모형의 단점을 보완하기 위해 배와 김 (2002)은 컨테이너선의 본선작업 주기를 기준으로 시점별 장치량의 변화를 산정하는 수리모형을 개발하였다. 그리고 장치장을 일반 수출, 일반 수입, 환적으로 구분한 다음에 화물 특성에 따라 상이한 방법이 적용되어야 한다고 제안하였다.

입의의 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 이 방법은 한 선박의 입항에서 다음 선박의 입항까지의 시간 간격을 양적하 및 반출입 과정이 반복하는 작업주기로 설정하여 장치공간 소요량 산정모형을 제안하였다.

이 연구는 확정적 상황에 대해서 앞의 두 모형에 비해 보다 상세하게 영향 요인들을 모형에 반영하여 장치량을 산출함으로써 보다 현실적인 장치공간 소요량 산정에 유용하다고 할 수 있다.

왜냐하면 많은 영향 요인들이 어느 정도 일정하다고 가정하는 것도 컨테이너터미널의 운영 측면에서 현실성이 있다. 예를 들면 선박 운항일정의 정시성은 기항지 선정에 있어 매우 중요하다. 따라서 컨테이너터미널은 기항 선박의 재항시간이 물량에 따라 크게 변동되지 않도록 하역장비, 작업인력 등의 투입 자원 규모를 유연하게 조정한다. 그리고 동일한 무료장치기간을 모든 화물에 대해 적용하기 때문에 반출입 비율은 작업물량에 상관없이 일정한 수준을 유지하고 있다. 또한 터미널 운영사는 선박의 활용도와 하역장비의 생산성을 높이기 위해 입항 선박의 배선간격을 조정한다.

그러나 본선 작업물량은 터미널 운영사가 통제할 수 없는 변수로서 이 모형은 장치공간 소요량에 민감한 본선 작업물량의 변동을 전혀 고려하지 못하는 한계가 있다.

2.4 시뮬레이션 모형

앞의 세 가지 모형은 영향 요인들이 계획기간동안 모두 일정하다고 가정하여 소요량을 산정하는 확정적 모형이다. 이들은 영향 요인이 가변적인 상황에서 장치량 변화를 반영하지 못하는 한계가 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하고자 Chung *et al.*(1988), Elizabeth(1996) 그리고 박(2005)은 영향 요인의 동적 활동을 반영한 시뮬레이션 모형을 통해 일정기간 동안의 장치량을 분석하여 장치공간 소요량을 도출하는 연구를 수행하였다. 개략적인 산정 과정은 다음과 같다.

- (단계 1) 시뮬레이션 수행에 필요한 초기 입력 자료로서 연간 물동량, 입항 선박의 선형정보, 하역작업 생산성, 반출입비율 등의 관련 항목을 설정
- (단계 2) 선형별 비율, 선형별 작업물량, 하역작업 생산성을 반영하여 입항 선박을 생성하고 선박의 입항시점을 기준으로 반입 컨테이너를 발생시킴
- (단계 3) 시뮬레이션을 수행하면서 선박 입출항에 따른 양적 하작업과 반출입작업을 진행하여 시점별 장치량 변화를 기록
- (단계 4) 시뮬레이션을 종료 후 시뮬레이션 수행시간 동안에 관측된 최대 장치량(또는 설정된 백분위수)을 장치공간 소요량으로 산정

이 방법은 본선 작업물량의 변동하기 용이할 뿐만 아니라 현실과 유사하게 다양한 요인의 동적 특성을 반영하여 유효성은 높지만 UNCTAD(1985)가 언급하였듯이 소요량의 분석에 시간과 비용이 많이 소요되고 매개변수의 통계량 수집과 운영논리의 마련이 힘들고, 이들에 지나치게 민감하다는 단점이 있다.

3. 본선작업 물량의 변동을 고려한 수리모형

3.1 가정 및 기호

컨테이너터미널에서 취급하는 화물은 처리 프로세스에 따라 수출 컨테이너, 수입 컨테이너 그리고 환적 컨테이너로 나눌 수 있다. 내륙운송과 해상운송의 연결점인 컨테이너터미널에서 수출입 컨테이너가 취급 화물의 주 대상이었지만 해운환경의 변화에 따라 중심항만의 경우에는 점차 환적 컨테이너의 비중이 높아지는 추세이다.

그러나 본 연구에서는 환적 컨테이너와 수출입 컨테이너의 장치장 소요 시점 및 형태에는 많은 차이가 있기 때문에 대부분의 항만에서 가장 높은 비중을 차지하는 수출입 컨테이너를 대상으로 장치공간 소요량을 산정하고자 한다. 그리고 본 연구는 장치장 소요공간 산정 모형을 위해 다음과 같이 가정한다.

- (1) 동일시점에 접안하는 선박은 발생하지 않으며 선박간 도착간격시간은 동일하다.
- (2) 모든 선박의 작업시간은 동일하고 접안 후 즉시 하역작업을 수행하고 작업 완료 후 즉시 이안한다.
- (3) 모든 선박에 대해서 화물별 장치허용기간은 동일하게 적용되며 그 기간동안의 반입비율과 반출비율은 일정하다.
- (4) 모든 선박은 양하작업을 적하작업보다 선행하여 수행하며 수출 컨테이너는 선박의 접안 전까지 반입되고 수입 컨테이너는 하역작업 종료 이후부터 반출된다.

작업 주기는 한 선박의 입항에서 다음 선박의 입항까지의 시간 간격을 의미하고 장치량의 변화가 반복되는 작업 주기에 입항하는 선박을 기준 선박이라고 정한다.

본 연구의 장치공간 소요량 산정모형에서 사용하는 주요 기호를 설명하면 다음과 같다.

- t : 작업 주기상의 임의의 시점
- t_0 : 기준 선박의 접안시점
- t_1 : 기준 선박의 양하작업 종료시점
- t_2 : 기준 선박의 적하작업 종료시점
- t_3 : 기준 선박 다음의 선박 접안시점
- T_u : 선박의 양하작업시간
- T_l : 선박의 적하작업시간
- T_d : 수입 컨테이너의 무료장치기간
- T_r : 수출 컨테이너의 반입허용시간
- T_b : 기준 선박의 이안 후 후속 선박 접안까지의 간격시간
- T_a : 작업주기시간으로 $T_u + T_l + T_b$
- QU : 임의의 단일 선박이 하역하는 수입 컨테이너 물량
- QL : 임의의 단일 선박이 하역하는 수출 컨테이너 물량
- $y_i(t)$: 기준 선박 이후 i 번째 입항 선박의 수출 컨테이너가 반입 개시부터 반입 마감 시점 동안의 t 시점에

장치장에 있는 물량

$g_j(t)$: 기준 선박 이전 j 번째 출항 선박의 수입 컨테이너가 반출 개시 시점부터 반출 마감 시점 동안의 t 시점에 장치장에 있는 물량

$z(t)$: 기준 선박의 수출 화물 중 적하작업 시작 시점으로부터 적하작업 완료 시점까지의 t 시점에 장치장에 있는 물량

$w(t)$: 기준 선박의 수입 화물 중 양하작업 시작 시점으로부터 양하작업 완료 시점까지의 t 시점에 장치장에 있는 물량

3.2 수출입 컨테이너의 최대 장치량

장치공간 소요량을 산정하기 위해서는 최대 장치량이 발생하는 시점과 물량의 추정이 중요하다. 본 연구에서는 배와 김(2002)의 연구에서 제시한 방법을 참조하였다.

수입 컨테이너의 장치량 변화는 Fig. 1과 같다. t_0 시점에 접안한 선박은 수입 컨테이너를 T_u 동안 q_u 만큼 장치장에 적치한다. 그리고 T_l 이 경과한 t_2 부터 컨테이너들은 T_d 동안 내륙 화주에 의해 지속적으로 반출된다. 즉, 양하작업이 종료되는 t_1 에 장치량은 최고점에 도달했다가 무료장치기간동안 반출되면서 장치량은 점차적으로 감소한다. 각 선박의 무료장치기간이 되면 장치장에서 해당 선박과 관련된 수입 컨테이너의 장치량은 0이 된다.

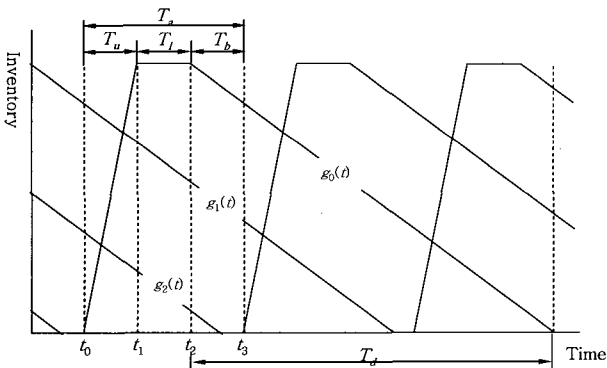


Fig. 1 Import container storage inventory during operation cycle

기준 선박의 수입 컨테이너를 제외한 작업 주기 내에 반출되는 수입 컨테이너의 선박수 m 은 $\lfloor (T_d + T_u + T_l)/T_a \rfloor$ 이고 기준 선박의 이전 m 번째 선박의 반출 컨테이너가 장치장에서 빠져나가는 것이 종료되는 시점 E_m 은 $T_d + T_u - mT_a$ 이 된다.

수출 컨테이너 장치량의 증감은 Fig. 2와 같이 수입 컨테이너와 비교하여 역순으로 진행된다. 기준 선박의 경우에 접안 시점의 T_r 이전부터 t_0 이전까지 내륙 화주로부터 일정한 반입비율로 들어온 수출 컨테이너는 장치장에 적재된 후 t_1 부터 선박에 적하된다. 작업 주기 기간동안 반입되는 일반 수출 화

물과 관련되는 선박수 n 은 $\lceil T_r/T_a \rceil$ 이다. 기준 선박 이후 n 번째 선박의 반입 컨테이너가 장치장에 들어오기 시작하는 시점 S_n 은 $nT_a - T_r$ 이다.

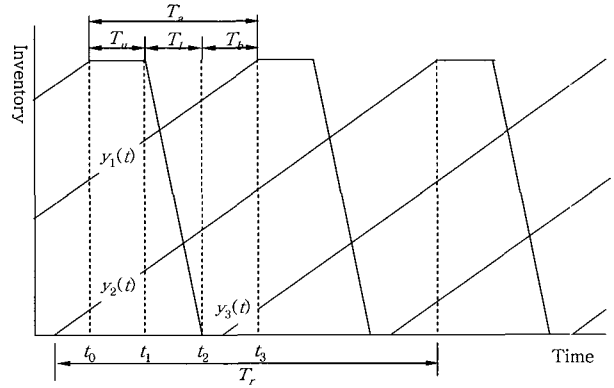


Fig. 2 Export container storage cycle inventory during operation cycle

기준 선박의 수입 컨테이너가 $t_0 < t \leq t_1$ 일 때 장치장에 있는 물량 $w(t)$ 는 $\frac{QU}{T_u}t$ 이고, 기준 선박 이전 j 번째 출항 선박의 수입 화물이 t 시점에 장치장에 있는 물량 $g_j(t)$ 는 $-\frac{QU}{T_d}(t + T_b + (j-1)T_a) + QU$ 이다. 또한 기준 선박의 수출 컨테이너가 $t_1 < t \leq t_2$ 일 때 장치장에 있는 물량 $z(t)$ 는 $-\frac{QL}{T_l}(t - T_u) + QL$ 이고 기준 선박 이후 i 번째 입항 선박의 수출 화물이 t 시점에 장치장에 있는 물량 $y_i(t)$ 는 $\frac{QL}{T_r}t + \frac{QL}{T_r}(T_r - iT_a)$ 이다. 이때 최대 장치량이 발생하는 시점은 배와 김(2002)의 연구에서 증명되었듯이 양하작업 완료 시점 t_1 으로 수입 컨테이너의 최대 장치량 D 와 수출 컨테이너의 최대 장치량 L 은 E_m 과 S_n 의 범위에 따라 식(3) - (6)과 같이 산출된다.

$t_0 < E_m \leq t_1$ 이면

$$D = w(t_1) + \sum_{j=1}^{m-1} g_j(t_1) = QU - \frac{QU}{T_d}(m-1)\left(\frac{m}{2}T_a - T_l - T_d\right) \quad (3)$$

$t_1 < E_m \leq t_3$ 이면

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

$t_0 < S_n \leq t_1$ 이면

$$L = z(t_1) + \sum_{i=1}^n y_i(t_1) \quad (5)$$

$$= QL + \frac{QL}{T_r} n(T_u + T_r) - \frac{n(n+1)}{2T_r} QL \cdot T_a$$

$$t_1 < S_n \leq t_3$$

$$L = z(t_1) + \sum_{i=1}^{n-1} y_i(t_1) \quad (6)$$

$$= QL + \frac{QL}{T_r} (n-1)(T_u + T_r) - \frac{n(n-1)}{2T_r} QL \cdot T_a$$

3.3 서비스 수준을 반영한 장치공간 소요량

컨테이너터미널의 취급 대상 화물을 수출입 컨테이너로 한정한다면 장치공간 소요량은 수입 및 수출 컨테이너의 최대 장치량을 합한 값으로 산정할 수 있다.

입항 선박의 본선 작업물량이 동일하고 확정적이라고 가정할 때 장치공간 소요량은 Fig. 3 (a)와 같이 작업주기를 기준으로 반복적인 장치형태를 나타낼 수 있다. 그러나 모선의 작업물량이 확률적인 경우에는 평균과 표준편차가 동일하더라도 Fig. 3 (b)와 같이 평균 장치량은 비슷하지만 시점별 장치공간 소요량은 크게 달라진다. 여기서 QU_i , QL_i 는 각각 선박 i 의 수입 그리고 수출 물량을 의미한다. 따라서 본 절에서는 본선작업 물량이 확률변수로 추정될 때 장치공간 소요량을 산정하는 방법을 다루고자 한다.

따라서 본 모형에서는 모선별 하역작업시간과 무료장치기간이 동일하고 모선별 수입 컨테이너 물량과 수출 컨테이너 물량인 QU_i 와 QL_i 이 각각 $N(QU, \sigma_D^2)$ 와 $N(QL, \sigma_L^2)$ 인 IID (independent and identical distribution)를 따른다고 가정하자. 이때 수출입 컨테이너 장치량이 최대가 되는 시점은 앞서 밝혔듯이 양하작업이 종료되는 시점 t_1 로 동일하고 수출입 컨테이너 장치량이 서로 독립이므로 따라서 정규분포의 성질에 따라 수입 컨테이너에 대한 최대 장치량에 대한 확률변수는 식(3)과 (4)로부터 구해진 최대 장치량을 통해 평균 D , 표준편차 $\frac{D}{QU}\sigma_D$ 인 정규분포를 따름을 알 수 있다. 마찬가지로 수출

컨테이너의 경우에는 평균 L , 표준편차 $\frac{L}{QL}\sigma_L$ 인 정규분포를 따르고 전체 장치량에 대한 확률변수도 $N(\bar{SI}, \sigma_{SI}^2)$ 인 정규분포라고 하면 쉽게 평균과 표준편차를 알 수 있다.

서비스수준이 장기간동안 최대 장치량이 발생하는 시점을 관측할 때 장치공간 소요량을 초과하는 최대 장치량의 비율을 의미한다고 할 때 본 모형에서 장치공간 소요량은 전략적으로 책정되는 서비스수준에 의해 결정된다. 여기서 z_α 가 표준정규분포표에서 서비스수준 α 에 해당하는 값이라고 하면 장치공간 소요량은 식 (7)과 같다.

$$SI = \bar{SI} + z_\alpha \sigma_{SI} \quad (7)$$

$$= (D+L) + z_\alpha \left(\frac{D}{QU}\sigma_D + \frac{L}{QL}\sigma_L \right)$$

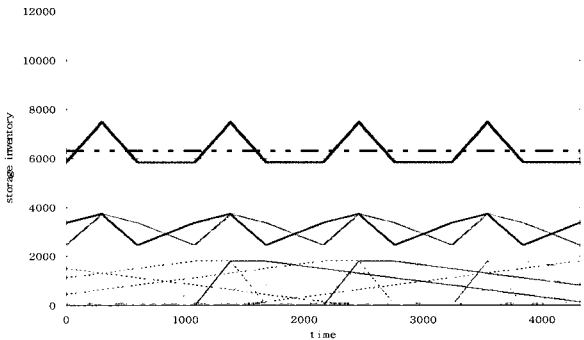
4. 수치실험

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

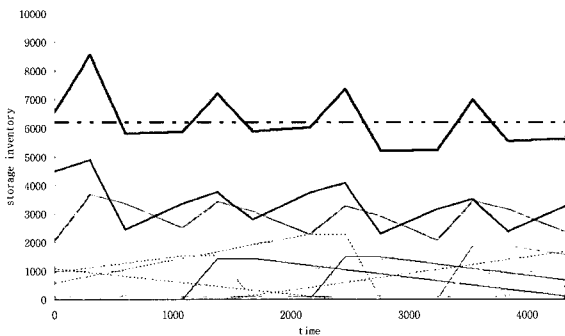
그리고 현실 자료를 통한 검증은 동일 특성을 가진 장기간의 자료를 확보해야 하기 때문에 매우 어렵다. 따라서 본 연구는 여러 영향 요인의 조정이 용이한 시뮬레이션을 통해 모형의 타당성을 확인하고자 한다.

Table 1은 장치공간 소요량의 세 가지 영향 요인으로 연간 물동량, 무료장치기간 그리고 배선간격을 변화 시켰을 때의 민감도 분석 결과이다. 수치 비교실험을 위해 연간 회전수를 이용한 M 1, 배선간격과 무료장치기간을 이용한 모형 M 2, 작업주기를 이용한 M 3, 본 연구에서 개발한 모형을 이용한 M 4 그리고 시뮬레이션 모형 M 5를 다루었다.

연간 작업일수는 365일, 연간 물동량에서 수출입 컨테이너의 비율은 같고 양적하 컨테이너의 무료장치기간은 동일한 것으로 가정했다. M 1의 D_a 는 무료장치기간동안 동일한 반출입 비율이 적용되는 것으로 가정하여 M 2의 $F_a/2$ 또는 $T_r/2$ 을 적용하였다. 그리고 본 연구에서 제시한 산정모형의 모선별 작업물량은 Watanabe(2001)의 산정 모형과 동일한 실험조



(a) 본선 수출입 물량이 확정적인 경우



(b) 본선 수출입 물량이 확률적인 경우

Fig. 3 Storage inventory according to the variance of import/export load size

본선 작업물량의 변동을 고려한 컨테이너 터미널의 장치공간 소요량 추정

건을 적용하기 위해 A_i/p 가 되도록 설정하였다.

시물레이션은 총 58척의 선박이 도착하는 기간동안 5번째 선박의 양하작업 완료 시점부터 55번째 선박의 양하작업 완료 시점에 대한 장치공간 소요량을 측정했다. 이때 각 시나리오에 대해서는 10회씩의 반복 실험을 실시하였다.

요인의 변동범위는 연간 물동량의 경우 20만개에서 40만개까지 매5만개씩 증가시켰고, 무료장치기간은 4일에서 7일까지 그리고 배선간격은 1일에서 5일로 정하고 양적하 작업시간은 각각 8시간씩 일정하다고 가정하였다. 그리고 선박별 작업물량의 변동을 고려하는 M4와 M5에서는 수출입 작업물량의 표

Table 1 Sensitivity analysis of storage inventory

무료장치기간		4일						5일					
배선간격	연간 물동량 (Box)	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
2일	40만	2191	3288	3105	3502	3352	3508	2740	3836	3652	4121	3914	4098
	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
3일	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
	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
4일	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
	20만	1095	2466	2374	2678	2714	2867	1370	3562	2776	3132	3135	3293
6일	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
2일	40만	3288	4384	4201	4739	4474	4691	3836	4932	4749	5357	5031	5282
	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
3일	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
	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
4일	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
	20만	1644	3562	3044	3434	3416	3577	1917	3562	3235	3650	3619	3780
7일	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

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

배선간격	연간 물동량 (Box)	표준 편차	제안 모형 장치공간 소요량	시뮬레이션			
				평균 장치공간 소요량		최대 장치공간 소요량	
				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%	

준편차를 모선별 평균 작업물량의 10%로 가정하고 서비스수준 90%를 적용했을 때의 장치공간 소요량을 산정하였다. M5의 결과값은 M4에 적용한 서비스수준과 동일하게 각 실험에서 90백분위수를 설정하여 구한 장치량을 장치공간 소요량으로 간주하여 반복실험에서의 평균과 최대값으로 정리하였다.

민감도 분석결과를 보면 M1, M2, M3, M4는 수리모형이기 때문에 결과들의 차이는 동일하게 나타난다. 그리고 장치공간 소요량은 모든 시나리오에 대해서 $M1 < M3 < M2, M4, M5$ 의 관계가 성립함을 알 수 있다. 이는 회전수의 개념을 이용한 M1은 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(2001)가 제안한 모형 M2의 장치공간 소요량이 가장 큰 이유는 양적하 작업시간의 영향 때문으로 판단된다. M2는 일단위 기준으로 양적하 작업시간을 1일로 컨테이너 체류시간을 길게 설정하고 있다. 따라

서 배선간격이 1일 미만으로 선박의 입항이 빈번한 터미널에 대한 장치량 산정에는 적합하지 않고 양적하 작업에 따른 장치량 증가의 효과를 과다하게 적용하는 문제점이 있다.

M3는 선박당 평균 작업물량의 경우에 최대 장치량의 증가에 미치는 증기분은 적지만 선박당 평균 작업물량이 증가하게 되면 일시적인 화물 집중화에 따라 장치공간 소요량의 증가를 보여주었다. 이는 하역작업 시간의 장치량 변화를 묘사하고 있기 때문이다. 그러나 시뮬레이션 모형과 같이 물량의 변동에 의해 발생하는 장치량의 증가는 반영하지 못해 실 장치공간 소요량에 비해 적은 값을 제공하고 있다.

M4는 시뮬레이션의 반복실험에서 얻은 평균 장치공간 소요량과 최대 장치공간 소요량에 있어 다른 모형에 비해 상대적으로 가장 근접한 장치공간 소요량을 제시하고 있다. 일부 시나리오에서 M2의 값이 더 근접한 경우가 있는데 이는 M2가 확정적 상황에서 가장 높은 장치공간 소요량을 제시하기 때문에 나타나는 현상으로 통계적으로 무시할 수 있다. 따라서 본 연구가 제시한 모형은 작업 물량의 변동을 고려하여 장

치공간 소요량을 산정하는데 적합한 것을 알 수 있다.

작업물량의 변동을 변화시켰을 때 시뮬레이션과 제안한 모형의 장치공간 소요량을 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 장치공간 소요량을 제공했다면 본 연구의 모형에서는 변동폭에 따라 시뮬레이션에 근접한 장치공간 소요량을 제시하고 있다. 배선간격이 짧은 경우에는 최대 장치공간 소요량과의 오차가 적었고, 배선간격이 긴 경우에는 평균 장치공간 소요량에 가까운 결과가 나왔다. 이는 대상 선박의 생성 규칙에 따라 선박의 입항이 잦게 되면 선박별 작업물량이 줄어들고 작업 주기내에 여러 선박이 포함되기 때문이다.

오차는 제안 모형의 실험값을 a 그리고 시뮬레이션 실험값을 b로 할 때 $|a-b|/b$ 로 추정하였는데, 최대 장치공간 소요량과의 오차는 평균 2%로 매우 우수한 것으로 산정되었다.

4. 결론 및 추후연구

본 연구는 장치장의 장치능력 산정에 필요한 장치공간 소요량을 구하는 방법에 대한 논의했다. 기존 수리모형들이 장치공간 소요량에 영향을 미치는 배선간격, 본선 하역물량, 본선 작업시간 그리고 무료장치기간의 확정적 상황을 고려했다면 본 연구는 본선작업 물량이 확률적인 경우를 다루었다.

본선작업 물량은 장치공간 소요량에 가장 민감한 요소일 뿐만 아니라 선박별 하역물량의 변동이 클수록 일정시점의 장치공간 소요량은 크게 달라진다. 따라서 본 연구는 본선 작업주기에 따른 장치량 변화의 특성을 고려하여 작업 물량이 정규분포를 따른다고 가정한 후 서비스수준에 따라 요구되는 장치공간 소요량의 산정방법을 제시하였다.

제시한 모형의 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션에서 얻어진 장치량과 비교하였고 이때 다양한 상황을 반영하기 위해 본선 작업물량의 표준편차를 다르게 적용하였다. 비교 결과에 따르면 본 연구에서 제시한 모형은 최대 장치량에 있어 유사하였고 확정적 모형의 장치공간 소요량을 초과하는 장치량에서 유의한 범위 내에서 산정됨을 알 수 있었다.

그리고 장치공간 소요량 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 Watanabe(2001)의 모형과 비교해서는 양적하 작업시간에 따른 장치량 증감의 효과를 설명함으로써 하역시스템의 생산성 효과를 보여줄 수 있었다. 배와 김(2002)의 연구와 차별되게 본 연구는 본선 작업물량의 확률적 상황을 반영함으로써 일시적으로 장치량이 증가할 때의 영향을 보다 근접하게 반영할

수 있었다.

한편, 장치공간 산정의 실용적 의의를 위해서는 수출입 컨테이너와는 다른 특성을 가지는 환적 컨테이너에 대한 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.

참고 문헌

- [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] 송용석, 남기찬, 유주영, 김태원(2006), "컨테이너 터미널의 장치장 활용 방안에 관한 연구", 한국항해항만학회지, 30권, pp.203-209.
- [4] 최용석, 하태영(2005), "컨테이너터미널의 장치장 레이아웃 설계방법", 한국항해항만학회지, 29권, pp.741-746.
- [5] 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.
- [6] Dally, H. K. and Maquire, F. J. (1983), "Container Handling and Terminal Capacity-Container Handling and Transport", C. S. Publications Ltd.
- [7] 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.
- [8] Frankel, E. G. (1987), "Port Planning and Development, John Wiley & Sons, Inc.", New York.
- [9] Keum, J. S. (1998), "Estimation of the CY Area Required for Each Container Handling System in Mokpo New Port," Journal of Port and Harbor Research, Vol. 9, pp.67-78.
- [10] Sauerbier, C. L. and Meurn, R. J. (1985), "Marine Cargo Operation", John Willey & Sons, 2nd ed.
- [11] UNCTAD (1985), Port Development, United Nations, 2nd ed.
- [12] Watanabe, I.(2001), Container Terminal Planning, WCN Publishing.

원고접수일 : 2006년 12월 28일

원고채택일 : 2007년 5월 18일