

확정적 상황에서 컨테이너 재고량 분석을 위한 수리모형

배종욱* · 김기영**

A Mathematical Model for an Analysis of Container Inventory under Deterministic Environment

Jong Wook Bae* · Ki Young Kim**

■ Abstract ■

This paper discusses how to estimate the container yard space of a port container terminal as well as how much the inventory level of containers is affected by related factors such as allowable dwell time for containers, handling volume per containership, and loading/unloading productivity of a port container terminal. Under the assumption of static relations among the factors, a model for estimating the container yard space is suggested. In terms of arrival patterns of containers, sub-models for export, import, and transshipment containers are constructed separately. A numerical example and the sensitivity analysis for some parameters are provided to help intuitive understanding the characteristics of the suggested model. The experimental results show that the allowable dwell time for containers is the most critical one of the factors to influence on the maximum inventory level of containers.

Keyword : Container, Terminal, Inventory, Yard, Port

1. 서론

국제물류시장에서 운송 규모의 확대와 화물의 단위화는 컨테이너 물동량을 크게 증가시켰다. 컨

테이너터미널은 컨테이너 화물의 하역, 보관, 집적 등을 위한 전용시설 및 장비를 운영함으로써 해상 운송과 육상운송의 신속하고 효율적인 연결점의 역할을 수행한다[4, 5, 6]. 또한 컨테이너터미널은

논문접수일 : 2001년 6월 28일 논문게재확정일 : 2001년 12월 22일

* 여수대학교 교통물류시스템공학부

** 동서대학교 국제관계학부

대형 선박의 유치와 생산성 확보를 위해 점차 대형화되고 최신 설비의 도입이 필요해지고 있다. 따라서 터미널 개발의 투자위험을 감소시키기 위한 노력으로 설계단계에서부터 경제성과 생산성을 감안하여 터미널의 적정 규모를 판단하는 것이 중요하다.

일반적으로 터미널의 설계단계에서는 입항선박과 물동량을 예측하고 적정 소요자원의 규모를 분석함으로써 장치장의 크기, 하역시스템의 종류 그리고 소요 장비대수 등을 결정한다. 여기서 컨테이너터미널의 적정 규모는 컨테이너터미널의 취급능력과 작업생산성에 관련된다. 취급능력과 작업생산성은 하역장비의 성능과 수, 운영전략 그리고 접안 시설·장치장·게이트 등의 터미널 내 시설물의 규모에 크게 좌우된다[8,9]. 특히 장치장은 여러 컨테이너 터미널에서 에로자원으로 작용하는 경우가 많다. 왜냐하면 장치장은 개발 이후 규모 변경이 어려울 뿐 아니라 계획시에 예상된 물량과 비교하여 추가적인 재고량을 가지게 될 경우 하역장비의 재작업 등이 발생하여 작업 생산성이 저하되는 특성이 있기 때문이다.

장치장의 취급능력 중에서 보관능력은 장치장의 크기, 장치정책 및 운영방법에 의해 결정된다. 장치장 보관능력을 향상시키기 위해 화물을 고단적할수록 장치장의 밀도는 높아지지만 적하 또는 반출작업 시에 특정 컨테이너를 뽑아 내는 능력인 접근성은 떨어진다. 또한 장치장 밀도가 높아지면 토지이용률은 향상되지만 컨테이너 취급비용은 증가하게 되는 경제적인 트레이드 오프 관계가 존재한다[10]. 따라서 터미널의 설계에서는 터미널의 적정 처리 물동량에 부합되는 장치장 소요 공간을 예측하는 것이 목표 작업생산성의 달성에서도 매우 중요한 사항이다.

본 연구에서는 장치장 재고량에 초점을 맞추기 위해 장치장 취급능력의 결정 요인들 중에서 운영 단적수, 하역시스템 그리고 장치전략을 비롯한 장치정책 및 운영방법이 사전에 결정되었다고 가정하였다. 따라서 장치장의 보관능력과 밀접한 장치장 규모를 결정할 때 선박의 입출항에 따라 변화하

는 장치장에서의 화물 재고량의 예측에 대해서만 다루고자 한다. 화물의 소요 재고량이 얻어지면 이에 운영 단적수를 고려하여 장치장에 필요한 슬롯수를 구하고 이에 블록 배치, 작업 여유공간 등의 장치정책 및 운영방법들을 감안하여 장치장의 규모를 산출할 수 있다.

장치장 소요면적을 추정하기 위한 기존의 연구 방향은 다음의 두 가지로 요약할 수 있다. 하나는 UNCTAD[7], Frankel[3]의 연구와 같이 장치장의 정적인 특성만을 고려하여 재고량을 분석하는 방법이다. 이 방법에서는 장치장을 이용하는 화물의 연간 회전율을 산출하여 평균 재고량을 구하고 이에 경험계수를 고려하여 소요 재고량을 산정한다. 다른 하나는 Elizabeth[2]의 연구와 같이 장치장의 동적인 특성을 반영하기 위해 터미널에 대한 시뮬레이션 분석을 실시하는 방법이다. 이는 일정기간 동안 장치장의 재고량 변화를 수집한 다음에 적정 분위량에 대해 소요 재고량을 구하는 방법이다.

Frankel의 연구도 회전을 개념을 도입한 점에서는 유사하지만 앞서의 피크계수 대신에 화물의 장치기간과 장치 높이의 편차, 활용도 그리고 유티율을 고려한다는 점에 차이가 있다. 이상의 정적인 분석은 컨테이너터미널을 설계할 경우에 입항선박의 작업량이나 입항간격시간, 터미널의 하역작업생산성에 대한 특성을 반영하지 않고 평균화된 개념으로 재고량을 분석함으로써 선박의 양적하 작업에서 발생할 수 있는 피크시의 재고량을 언급하지 못하는 문제점을 지니고 있다.

반면에 시뮬레이션을 이용하는 방법[8,9]은 입항 예정선박의 작업물량, 도착간격시간 그리고 작업생산성을 시뮬레이션 모델에 묘사하여 장치장에 있는 화물 재고량의 증가나 감소를 분석한다. 그렇지만 실험에 필요한 시간과 비용이 많이 소요되고 변동 요인에 따른 영향을 신속하게 분석하기 힘들어 결과의 신뢰성이 떨어질 가능성이 높다는 단점이 있다.

한편 이와 같은 장치장 분석과 관련된 연구에는

재고량 측면뿐 아니라 취급능력을 산정하기 위한 연구도 있다. 장치장의 취급능력의 연구에서는 장치장의 보관능력과 장비의 처리능력이 상호 관련되어 열수, 단수, 블록수 등의 배치안과 투입되는 장비규모가 함께 고려되어야 한다. Roux[4]와 Taleb-Ibrahimi[6]는 각각 트랜스퍼 크레인을 사용하는 수입 장치장과 수출 장치장에 대한 장치장 운영전략을 고려하여 터미널의 취급능력을 분석하였고 김홍배[1]는 수입 장치장에 대해 장치장 건설비용과 장비비용 등에 대한 경제성 분석을 하였다.

장치장 처리능력에 관한 연구들을 살펴보면 터미널에 적용되는 하역시스템이나 운영 알고리즘과 매우 밀접한 관련을 맺는 점을 알 수 있다. 그렇지만 본 연구에서는 하역시스템과 운영 알고리즘의 영향은 배제하고 선박의 입출항 및 외부트럭의 반출입과 관련되어 장치장의 소요 재고량을 산출할 수 있는 측면에 대해서만 연구의 범위로 정하고자 한다.

본 연구의 목적은 장치장 규모 산정을 위해 컨테이너터미널에 장치되는 컨테이너 수량을 추정하기 위한 수리모형을 수립하는 것이다. 컨테이너터미널에서 취급되는 화물을 장치되는 컨테이너의 특성에 따라 구분하여 컨테이너의 재고량을 추정하는 부분적인 모델을 구축하고 이를 바탕으로 전체 터미널에서 적재되는 컨테이너의 소요 재고량을 추정하고자 한다.

컨테이너터미널에서 취급되는 화물은 크게 터미널 내 장치를 위해 선박으로부터 컨테이너를 내리는 양하화물, 그리고 터미널 내 컨테이너를 선박에 싣는 적하화물로 구분되며, 이들은 화물의 연계 수송경로가 내륙인가 해상인가에 따라 일반 수출입 화물과 환적 화물로도 나눌 수 있다.

일반 수입 화물은 선박에서 내려져 일정 기간 동안 장치된 후 내륙 화주에 의해 반출되는 컨테이너를 의미하고 내륙 화주로부터 반입된 후 장치장을 거쳐 선박에 실려 나가는 컨테이너는 일반 수출 화물로 분류된다. 환적 화물은 선박으로부터 내려져 내륙으로 반출되지 않고 일정기간을 장치장에

서 보관된 후 다른 입항 선박에 적하되는 화물을 의미한다.

일반 수출입 화물은 외부트럭의 반출입 작업을 통해 장치·이적과정을 밟게 되므로 화물의 도착률이나 반출률이 장치기간동안 연속적으로 발생하지만 환적 화물의 경우에는 선박의 양적하 작업시간 동안에만 장치장 내에서의 재고량 변화가 발생함으로써 일반 수출입 화물과는 장치장의 이용 패턴에 차이가 있다.

본 연구에서는 화물의 장치허용일수, 선박의 평균 작업량 그리고 작업 생산성의 변화에 따라 화물 재고량의 최대 변동폭이 어떻게 변화하는지를 보이고 소요 재고량을 추정할 수 있는 수리모형을 제시하고자 한다. 컨테이너터미널의 장치장을 설계할 때 주요하게 고려되는 선박의 도착시간간격, 선박 작업량 등과 같은 외부로부터의 전제조건과 작업 생산성, 장치허용일수와 같은 터미널 내부의 운영 전략을 포함하는 간단한 수리모형을 통해 이들 간의 관계를 쉽게 분석할 수 있을 뿐만 아니라 재고량이 피크가 되는 시점의 재고량을 추정할 수 있으므로 적정 하역 생산성을 유지할 수 있는 소요공간을 산정하는데 효과적으로 활용될 수 있다.

2. 수리모형

2.1 문제의 정의

장치장에서 화물의 재고량 변화를 간단히 살펴보면 일반 수입 화물, 일반 수출 화물은 각각 양하 작업시간 또는 반입 허용기간동안 일정한 비율로 장치장에 적재되면서 한 선박의 화물량이 장치장에서 최고치에 도달한 후 일정기간동안 재고량이 유지된다. 그런 다음 반출 허용기간과 적하작업시간동안 일정한 비율로 장치장에서 빠져나가면서 재고량은 감소한다. 외부트럭을 통해 반출입이 발생하는 일반 수출입화물과는 달리 환적 화물은 입출항 선박을 통해서 장치장에서의 재고량이 변화하게 된다.

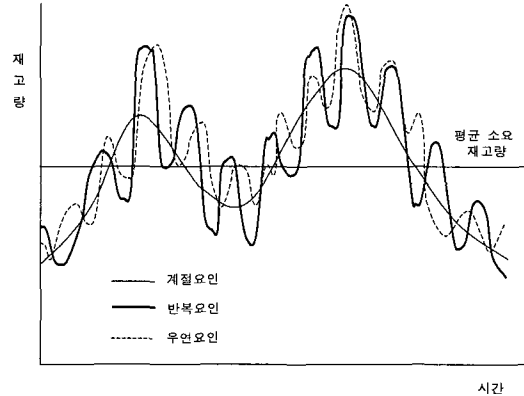
지금까지 장치장 소요면적 산출을 위해 사용되어온 대표적인 연구 중에서 UNCTAD가 제시한 장치장의 화물 소요 재고량을 산정하는 방법은 식 (1)과 같다.

$$\frac{\text{연간 물동량} \times \text{평균 장치기간}}{365 \times 24} \times \text{피크계수} \quad (1)$$

식 (1)에서 연간 물동량은 터미널의 적정 처리능력 범위 내에서 취급되는 일년간의 처리화물을 의미한다. 평균 장치기간은 터미널의 외부에서 들어와 다시 빠져나갈 때까지 화물이 장치장에서 보관되는 평균 기간이다. 식 (1)에서 분모는 터미널의 연간 운영시간을 나타낸다. 또한 피크계수는 회전율에 따라 구해진 평균 소요 재고량을 적정 소요 재고량으로 보정해 주기 위해 기존 터미널의 실적 자료를 토대로 분석되는 계수이다. 이는 계절 또는 월별로 물동량이 증가되는 계절요인, 선박 입출항에 따라 양적하 및 반출입 화물량이 증가하는 반복요인 그리고 선박도착간격, 선박 작업량, 반출입률 변동에 따른 우연요인을 포함한다.

터미널에 입항하는 선박은 대부분 정기선으로 선박의 입출항에 맞추어 컨테이너가 반입 혹은 반출되면서 야드의 재고량은 일정한 주기를 가지면서 반복적인 형태로 변화하는데 이는 반복요인으로 정의된다. 그렇지만 선박의 실제 입출항시점은 기후나 운행조건에 따라 정해진 시점에 대해서 변동을 가지게 되고 선박의 작업량도 매번 일정하지 않다. 이는 컨테이너 재고량의 우연요인으로 정의된다. 따라서 분석기간 내에서 화물량이나 도착선박수가 일정하게 증가한다고 가정하는 계절요인과 반복요인은 정적인 측면에서 분석될 수 있지만 우연요인은 동적인 요소로 분석되어야 한다. <그림 1>은 장치장 재고량에서 앞서 언급한 각 요인에 의해 발생하는 변동 부분을 나타내고 있다.

대부분의 터미널에서는 일반 수출입 화물과 환적 화물의 장치기간에 차이를 두는 운영전략을 적용하며, 일반적으로는 운영의 편리함이나 작업의



<그림 1> 장치장 화물 재고량의 변화

단순화를 위해 화물별로 장치지역을 분리 운영한다. 따라서 본 연구에서는 일반 수출입 화물과 환적 화물의 특성을 고려하여 화물별로 구분하여 분석하고자 한다. 일반 수출, 일반 수입, 그리고 환적 화물은 장치장에 쌓이고 빠져나가는 과정이 다르고 재고량이 서로 독립적으로 발생하므로 본 연구에서는 유도과정을 간단히 하기 위해 화물별 수리모형을 제시하고자 한다. 또한 문제를 단순화하기 위해 선석이 하나인 터미널을 가정함으로써 터미널에서 한 선박이 작업 중인 동안에 접안하는 선박은 발생하지 않는다.

2.2 가정 및 기호

본 연구에서는 장치장의 재고량 변화에 영향을 미치는 세 가지 요인 중에서 선박 입출항과 밀접한 반복요인에 대해서만 다루고자 한다.

장치장 소요공간 산정을 위한 수리모형을 제시하기 위해 도입한 가정을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 입항 선박의 대기는 발생하지 않으며 선박간 도착간격시간은 동일하다. 이는 터미널의 서비스수준 및 터미널의 작업여건을 일정하게 유지 시킴으로써 장치허용기간, 작업생산성 등과 재고량 변화의 관계를 살펴볼 수 있게 한다.
- (2) 모든 선박의 작업량과 작업 생산성은 동일하고 선박은 접안 후 바로 하역작업을 수행하고 작

업 완료 후 즉시 이안한다. 이는 시스템의 상태가 안정화되어 있고 분석 요소 이외의 복잡한 상황을 배제함을 의미한다.

- (3) 모든 선박에 대해서 화물별 장치허용기간은 동일하게 적용되며 그 기간동안의 도착률과 반출률은 일정하다.
- (4) 모든 선박은 양하작업을 적하작업보다 선행하여 수행하며 수출 컨테이너는 선박의 접안 전까지 반입되고 수입 컨테이너는 하역작업 종료 이후부터 반출된다.
- (5) 환적 화물은 장치허용기간 중에 입항하는 후속 선박들에 동일한 수량으로 실려 장치허용기간 내에 모두 적하된다. 양하작업 및 적하작업 시에 일반 수출입 화물과 환적 화물의 작업비율은 균일하다.

수리모형에서 사용될 주요 기호를 설명하면 다음과 같다.

- t_0 : 기준 선박의 접안 시점. 재고량의 변화가 반복되는 사이클 기간 동안에 입항하는 선박을 기준 선박이라고 정의한다. 본 연구에서 사이클 기간은 한 선박의 입항에서 다음 선박의 입항까지의 시간 간격을 의미한다.
- t_1 : 기준 선박의 양하 완료 시점
- t_2 : 기준 선박의 적하 완료 시점
- t_3 : 기준 선박 다음에 입항하는 선박의 접안 시점
- t : 사이클 기간 내에서의 시각. $t_0 \leq t < t_3$.
- T_u : 선박의 양하작업시간. $[t_0, t_1)$
- T_l : 선박의 적하작업시간. $[t_1, t_2)$
- T_b : 선박의 이안 후 다음 선박의 접안까지의 간격시간. $[t_2, t_3)$
- T_a : 선박의 도착간격시간으로 $T_u + T_l + T_b$ 임. 여기서 한 사이클 기간을 의미함. $[t_0, t_3)$
- Q_L : 선박의 수출 컨테이너 작업 물량.
- Q_D : 선박의 수입 컨테이너 작업 물량.
- Q_S : 선박의 환적 양하 물량.

- T_s : 환적 화물의 무료 장치 기간.
- $y_i(t)$: 기준 선박 이후 i 번째 입항 선박의 수출 화물이 반입 개시부터 반입 마감 시점 동안의 t 시점에 장치장에 있는 물량
- $g_j(t)$: 기준 선박 이전 j 번째 출항 선박의 수입 화물이 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
- $L(t)$: t 시점에 장치장에 있는 수출 컨테이너 물량.
- $D(t)$: t 시점에 장치장에 있는 수입 컨테이너 물량.
- $S(t)$: t 시점에 장치장에 있는 환적 컨테이너 물량.
- h_{max} : 최소 재고량과 최대 재고량의 차이.

2.3 일반 수입 화물 재고량 모형

<그림 2>는 컨테이너터미널 장치장에서 일반 수입 화물의 재고량 변화를 도식화 한 것으로 t_0 시점에 접안한 기준 선박은 일반 수입 화물을 T_u 시간 동안 Q_D 만큼 장치장에 내린다. 선박의 모든 작업이 종료되는 t_2 까지 화물은 장치장에 적재된 후 수입 화물의 장치허용기간 T_d 동안 내륙 화주에 의해 지속적으로 반출된다. 기준 선박의 일반 수입 물량을 제외할 때 사이클 기간동안 반출되는 일반 수입 화물과 관련되는 선박수 m 은 $\lfloor \frac{(T_d + T_u + T_l)}{T_a} \rfloor$ 이다. <그림 2>에서 T_a 동안 반출이 발생하는 선박은 기준 선박을 제외하면 $g_1(t)$ 과 $g_2(t)$ 와 관련되는 2척이다. 이때 기준 선박의 이전 m 번째 선박의 반출 컨테이너가 장치장에서 빠져나가는 것이 종료된 시점인 E_m 은 $T_d + T_u + T_l - mT_a$ 이고 반출이 종료되는 선박

은 사이클 기간 내에 한 척이 존재한다.

선박의 양하작업이 종료되는 t_1 에 수입 화물의 재고량은 최고점에 도달하였다가 선박이 적하작업을 마친 t_2 이후부터 각 선박과 관련된 수입 화물의 재고량은 장치허용기간동안 반출되면서 점차적으로 감소한다. 각 선박의 장치허용기간이 지나면 장치장에서 해당 선박과 관련된 수입 화물의 재고량은 0이 된다.

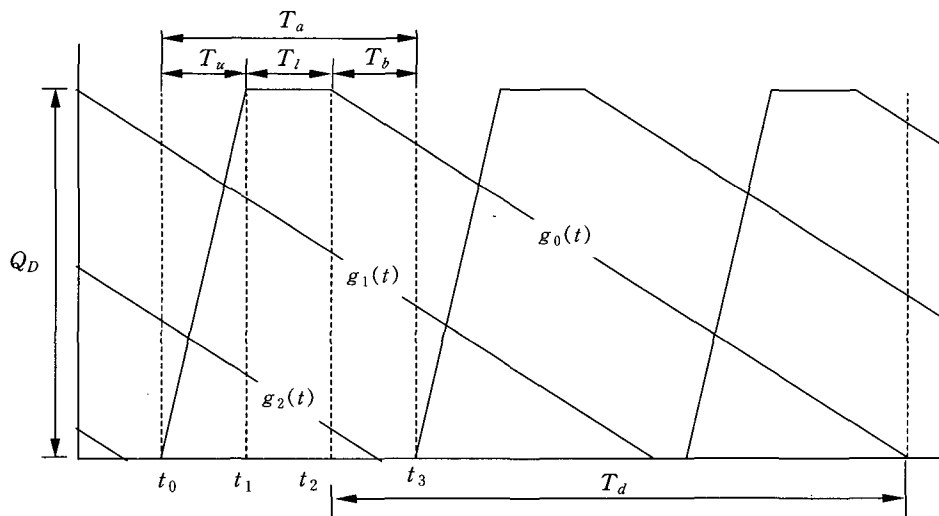
반출 개시 이후 장치장에 있는 기준 선박의 수입 화물 재고량 $g_0(t)$ 는 $t_2 \leq t \leq t_3$ 에서 $-\frac{Q_D}{T_d}(t - T_u - T_l) + Q_D$ 이고 이전의 선박들과 관련된 일반 수입 화물의 재고량 $g_j(t)$ 는 $-\frac{Q_D}{T_d}(t + T_b + (j-1)T_a) + Q_D$ 이다. 그리고 $t_0 < t \leq t_1$ 에서 양하작업 기간동안 장치장에 누적되는 물량 $w(t)$ 는 $\frac{Q_D}{T_u}t$ 이다. 장치장에서 일반 수입 컨테이너의 재고량 $D(t)$ 는 기준 선박의 수입 화물을 기준으로 증가구간인 $t_0 < t \leq t_1$, 유지구간인 $t_1 < t \leq t_2$, 그리고 감소구간인 $t_2 < t \leq t_3$ 로 구분할 수 있다. $D(t)$ 를 구하기 위해서는 기준 선박과 관련된 물량 외에 기준 선박의 선행 선박들

의 수입 화물에 대한 재고량 $g_j(t) (1 \leq j \leq m)$ 가 고려되어야 한다. 이때 $t_0 < t \leq t_1$, $t_1 < t \leq t_2$, $t_2 < t \leq t_3$ 의 세 구간에 대한 $D(t)$ 를 정리하면 E_m 에 따라 $g_j(t) (1 \leq j \leq m)$ 가 달라지므로 아래의 식 (2)에서 식 (13)과 같이 유도된다. $t \leq E_m$ 인 경우에는 $D(t)$ 에 $g_m(t)$ 이 제외된다. 식 (2)와 식 (3)을 비교하면 기준 선박 이전의 선행 선박과 관련된 물량이 식 (2)에서는 $\sum_{j=1}^m g_j(t)$ 이지만 식 (3)에서는 $\sum_{j=1}^{m-1} g_j(t)$ 이 된다.

$t_0 < E_m \leq t_1$ 인 경우

$$D(t) = w(t) + \sum_{j=1}^m g_j(t) = \frac{Q_D}{T_u}t - \frac{Q_D}{T_d}m(t + T_b + \frac{m-1}{2}T_a - T_d) \quad t_0 < t \leq E_m \quad (2)$$

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



〈그림 2〉 선박 입출항에 따른 일반 수입 화물의 재고량 변화

$$D(t) = Q_D + \sum_{j=1}^{m-1} g_j(t) = Q_D - \frac{Q_D}{T_d} (m-1)(t + T_b + \frac{m-2}{2} T_a - T_d) \quad t_1 < t \leq t_2 \quad (4)$$

$$D(t) = \sum_{j=0}^{m-1} g_j(t) = Q_D - \frac{Q_D}{T_d} (m-1)(t + T_b + \frac{m-2}{2} T_a - T_d) - \frac{Q_D}{T_d} (t - T_u - T_l) \quad t_2 < t \leq t_3 \quad (5)$$

$t_1 < E_m \leq t_2$ 인 경우

$$D(t) = w(t) + \sum_{j=1}^m g_j(t) = \frac{Q_D}{T_u} t - \frac{Q_D}{T_d} m(t + T_b + \frac{m-1}{2} T_a - T_d) \quad t_0 < t \leq t_1 \quad (6)$$

$$D(t) = Q_D + \sum_{j=1}^m g_j(t) = Q_D - \frac{Q_D}{T_d} (m-1)(t + T_b + \frac{m-1}{2} T_a - T_d) \quad t_1 < t \leq E_m \quad (7)$$

$$D(t) = Q_D + \sum_{j=1}^{m-1} g_j(t) = Q_D - \frac{Q_D}{T_d} (m-1)(t + T_b + \frac{m-2}{2} T_a - T_d) \quad E_m < t \leq t_2 \quad (8)$$

$$D(t) = \sum_{j=0}^{m-1} g_j(t) = Q_D - \frac{Q_D}{T_d} (m-1)(t + T_b + \frac{m-2}{2} T_a - T_d) - \frac{Q_D}{T_d} (t - T_u - T_l) \quad t_2 < t \leq t_3 \quad (9)$$

$t_2 < E_m \leq t_3$ 인 경우

$$D(t) = w(t) + \sum_{j=1}^m g_j(t) = \frac{Q_D}{T_u} t - \frac{Q_D}{T_d} m(t + T_b + \frac{m-1}{2} T_a - T_d) \quad t_0 < t \leq t_1 \quad (10)$$

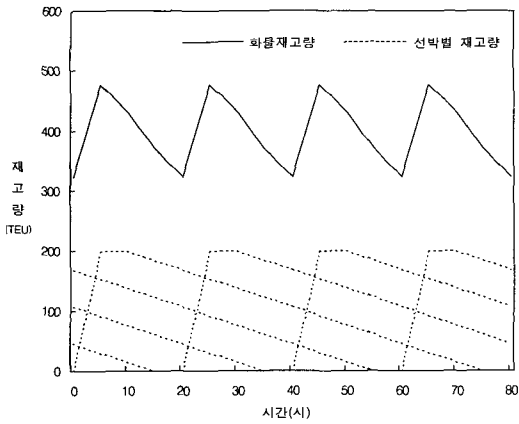
$$D(t) = Q_D + \sum_{j=1}^m g_j(t) = Q_D - \frac{Q_D}{T_d} m(t + T_b + \frac{m-1}{2} T_a - T_d) \quad t_1 < t \leq t_2 \quad (11)$$

$$D(t) = \sum_{j=0}^m g_j(t) = Q_D - \frac{Q_D}{T_d} m(t + T_b + \frac{m-1}{2} T_a - T_d) - \frac{Q_D}{T_d} (t - T_u - T_l) \quad t_2 < t \leq E_m \quad (12)$$

$$D(t) = \sum_{j=0}^{m-1} g_j(t) = Q_D - \frac{Q_D}{T_d} (m-1)(t + T_b + \frac{m-2}{2} T_a - T_d) - \frac{Q_D}{T_d} (t - T_u - T_l) \quad E_m < t \leq t_3 \quad (13)$$

예를 들어 $Q_D = 200$, $T_u = T_l = 5$ 시간, $T_a = 20$ 시간, 그리고 $T_d = 65$ 시간인 경우 $m = 3$, $E_m = 15$ 로 식 (10)~(13)를 이용하여 장치장의 재고를 추정할 결과를 <그림 3>과 같이 나타낼 수 있다. 점선으로 표시된 선은 선박별 재고량을 의미하고 실선은 일반 수입 화물 전체 재고량의 변화를 보여준다.

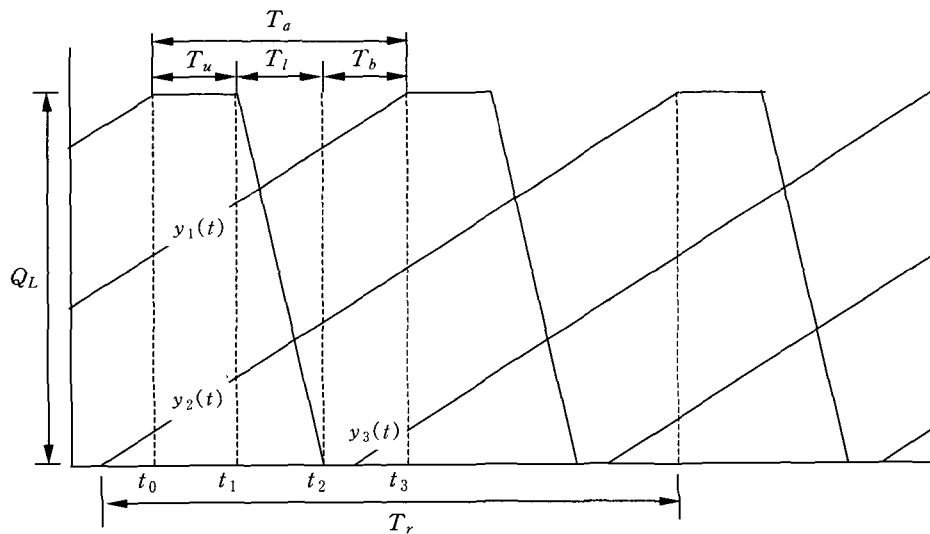
식 (2)~(13)을 정리하면 $D(t)$ 는 $t_0 < t \leq t_1$ 에서 단조증가이고 $t_1 < t \leq t_2$ 와 $t_2 < t \leq t_3$ 에서는 단조감소이며 $D(t_0) = D(t_3)$ 이다. 따라서 사이클 내에서의 최소 재고량은 t_0 와 t_3 에서 발생하고 최대 재고량은 t_1 에서 발생한다. 재고량의 변동폭을 살펴보기 위해 최소·최대 재고량의 차이를 구하면 $t_0 < E_m \leq t_1$ 인 경우에는 $\frac{Q_D}{T_d} ((m-1)(T_a + T_u) + T_b)$, $t_1 < E_m \leq t_2$ 의 경우에는 $Q_D - \frac{Q_D}{T_d} mT_u$ 그리고 $t_2 < E_m \leq t_3$ 의 경우에는 $Q_D - \frac{Q_D}{T_d} mT_u$ 이다.



<그림 3> 일반 수입 화물의 장치장 재고 추정

2.4 일반 수출 화물 재고량 모형

<그림 4>는 컨테이너터미널 장치장에서 수출 화물의 재고량 변화를 보여준다. 기준 선박의 경우 접안시점으로부터 수출 화물의 반입허용기간 T_r 이전부터 t_0 이전까지 내륙 화주로부터 일정한 도착률로 반입된 일반 수출화물은 장치장에 적재된 후 접안 선박의 양하작업이 종료되는 t_1 부터 선박에 적하된다. 사이클 기간동안 반입되는 일반 수출 화물과 관련되는 선박수 n 은 $\lceil T_r/T_a \rceil$ 이다.



<그림 4> 선박 입출항에 따른 일반 수출 화물의 재고량 변화

<그림 4>에서 T_a 동안 반입이 발생하는 선박은 $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$ 와 관련되는 3척이다. 기준 선박 이후 n 번째 선박의 반입 컨테이너가 장치장에 들어오기 시작하는 시점 S_n 은 $nT_a - T_r$ 이다. 사이클 기간 내에서 반입이 시작되는 선박은 한 척이 존재한다.

기준 선박의 입장에서 보면 입항시점 t_0 이 되면 일반 수출 화물의 재고량은 최고점에 도달하였다가 선박이 적하작업을 하는 동안 점차 감소하여 적하작업이 종료되는 시점 t_2 에서 터미널 내 컨테이너 수는 0이 된다.

여기서 기준 선박 이후의 입항 예정 선박과 관련된 사이클 기간 동안 반입되는 수출 화물의 재고량

$$y_i(t) \text{는 } \frac{Q_L^i}{T_r} t + \frac{Q_L}{T_r} (T_r - iT_a) \text{이고 } t_1$$

$\langle t \leq t_2$ 의 적하작업 기간동안 장치장에서 빠져나

$$\text{가는 물량 } z(t) \text{는 } -\frac{Q_L}{T_l} (t - T_u) + Q_L \text{이다.}$$

장치장에서 일반 수출 컨테이너 재고량 $L(t)$ 는 기준 선박의 수출 화물을 기준으로 반입 완료된 Q_L 의 수출 화물이 장치되어 있는 $t_0 < t \leq t_1$,

적하작업을 통해 장치장의 재고가 감소하는 $t_1 < t \leq t_2$, 그리고 재고량이 0인 $t_2 < t \leq t_3$ 로 구분할 수 있다. $L(t)$ 를 구하기 위해서는 기준 선박과 관련된 물량 외에 기준 선박의 이후에 입항하는 선박들의 수출 화물에 대한 재고량 $y_i(t)$ ($1 \leq j \leq n$)가 고려되어야 한다. 이때 $t_0 < t \leq t_1$, $t_1 < t \leq t_2$, $t_2 < t \leq t_3$ 의 세 구간에 대한 $L(t)$ 를 정리하면 S_n 에 따라 $y_i(t)$ ($1 \leq j \leq n$)가 달라지므로 아래의 식 (14)에서 식 (25)와 같이 유도된다. $t \geq S_n$ 인 경우에는 $D(t)$ 에서 $y_n(t)$ 이 포함된다. 식 (14)와 식 (15)를 비교하면 기준 선박 이후 선박과 관련된 물량이 식 (14)에서는 $\sum_{i=1}^{n-1} y_i(t)$ 이지만 식 (15)에서는 $\sum_{i=1}^n y_i(t)$ 이 된다.

$t_0 < S_n \leq t_1$ 인 경우

$$L(t) = Q_L + \sum_{i=1}^{n-1} y_i(t) = Q_L + \frac{Q_L}{T_r}(n-1) - \frac{n(n-1)}{2T_r} Q_L T_a \quad t_0 < t \leq S_n \quad (14)$$

$$L(t) = Q_L + \sum_{i=1}^n y_i(t) = Q_L + \frac{Q_L}{T_r} n(t + T_r) - \frac{n(n+1)}{2T_r} Q_L T_a \quad S_n < t \leq t_1 \quad (15)$$

$$L(t) = z(t) + \sum_{i=1}^n y_i(t) = Q_L + \frac{Q_L}{T_r} n(t + T_r) - \frac{n(n+1)}{2T_r} Q_L T_a - \frac{Q_L}{T_l}(t - T_u) \quad t_1 < t \leq t_2 \quad (16)$$

$$L(t) = \sum_{i=1}^n y_i(t) = \frac{Q_L}{T_r} n(t + T_r) - \frac{n(n+1)}{2T_r} Q_L T_a \quad t_2 < t \leq t_3 \quad (17)$$

$t_1 < S_n \leq t_2$ 인 경우

$$L(t) = Q_L + \sum_{i=1}^{n-1} y_i(t) = Q_L + \frac{Q_L}{T_r}(n-1) - \frac{n(n-1)}{2T_r} Q_L T_a \quad t_0 < t \leq t_1 \quad (18)$$

$$L(t) = z(t) + \sum_{i=1}^{n-1} y_i(t) = Q_L + \frac{Q_L}{T_r}(n-1) - \frac{n(n-1)}{2T_r} Q_L T_a - \frac{Q_L}{T_l}(t - T_u) \quad t_1 < t \leq S_n \quad (19)$$

$$L(t) = z(t) + \sum_{i=1}^n y_i(t) = Q_L + \frac{Q_L}{T_r} n(t + T_r) - \frac{n(n+1)}{2T_r} Q_L T_a - \frac{Q_L}{T_l}(t - T_u) \quad S_n < t \leq t_2 \quad (20)$$

$$L(t) = \sum_{i=1}^n y_i(t) = \frac{Q_L}{T_r} n(t + T_r) - \frac{n(n+1)}{2T_r} Q_L T_a \quad t_2 < t \leq t_3 \quad (21)$$

$t_2 < S_n \leq t_3$ 인 경우

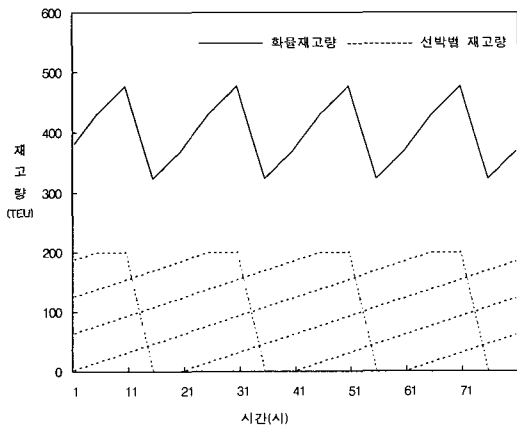
$$L(t) = Q_L + \sum_{i=1}^{n-1} y_i(t) = Q_L + \frac{Q_L}{T_r}(n-1) - \frac{n(n-1)}{2T_r} Q_L T_a \quad t_0 < t \leq t_1 \quad (22)$$

$$L(t) = z(t) + \sum_{i=1}^{n-1} y_i(t) = Q_L + \frac{Q_L}{T_r}(n-1) - \frac{n(n-1)}{2T_r} Q_L T_a - \frac{Q_L}{T_l}(t - T_u) \quad t_1 < t \leq t_2 \quad (23)$$

$$L(t) = \sum_{i=1}^{n-1} y_i(t) = \frac{Q_L}{T_r}(n-1)(t + T_r) - \frac{n(n-1)}{2T_r} Q_L T_a \quad t_2 < t \leq S_n \quad (24)$$

$$L(t) = \sum_{i=1}^n y_i(t) = \frac{Q_L}{T_r} n(t + T_r) - \frac{n(n+1)}{2T_r} Q_L T_a \quad S_n < t \leq t_3 \quad (25)$$

수입 화물의 경우와 같이 예를 들어 $Q_L = 200$, $T_u = T_l = 5$ 시간, $T_a = 20$ 시간, 그리고 $T_r = 65$ 시간인 경우 $n = 3$, $S_n = 15$ 로 식 (22)~(25)를 이용하여 장치장의 재고를 추정한 결과를 <그림 5>와 같이 표시할 수 있다. 그림에서 점선으로 표시된 선은 선박별 재고량을 의미하며 실선은 일반 수출 화물 전체 재고량의 변화를 보여준다.



<그림 5> 일반 수출 화물의 재고량 추정

식 (14)~(25)를 정리하면 $L(t)$ 는 $t_0 < t \leq t_1$ 와 $t_2 < t \leq t_3$ 에서 단조증가이며 $t_1 < t \leq t_2$ 에서는 단조감소이고 $L(t_0) = L(t_3)$ 이다. 따라서 사이클 내에서의 최소 재고량은 t_2 에서 발생하고 최대 재고량은 t_1 에서 발생한다. 재고량의 변동폭을 살펴보기 위해 최소·최대 재고량의 차이를 구하면 $t_0 < E_m \leq t_1$ 인 경우에는 $Q_L - \frac{Q_L}{T_r} nT_b$, $t_1 < E_m \leq t_2$ 의 경우에는 $Q_L + \frac{Q_L}{T_r} nT_a - \frac{Q_L}{T_r} (nT_u + T_u + T_r)$ 그리고 $t_2 < E_m \leq t_3$ 의 경우

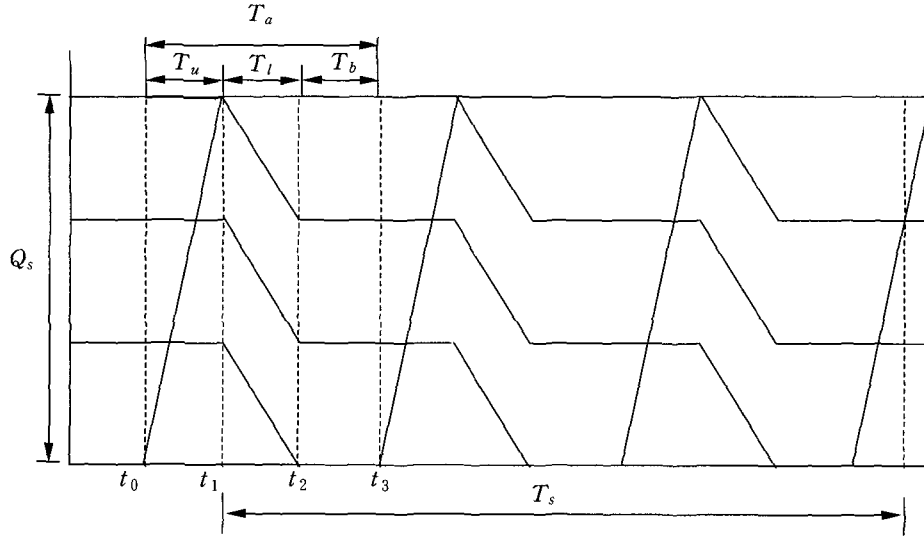
에는 $Q_L - \frac{Q_L}{T_r} (n-1)T_l$ 이다.

2.5 환적화물 재고량 모형

선박이 취급하는 환적화물은 다른 선박에서 내려진 화물을 싣는 환적 적하화물과 다른 선박이 실어 나갈 수 있도록 선박에서 내리는 환적 양하화물로 구성된다. 일반 수출입화물과 동일하게 선박은 양하작업 시간동안 일반 수입화물과 함께 환적 양하화물을 먼저 처리하고 적하작업 시간동안에 일반 수출화물과 같이 환적 적하화물을 처리한다.

<그림 6>에서 환적 양하화물은 양하작업 시간동안 선박으로부터 장치장에 내려진 후 환적화물의 장치허용기간인 T_s 동안에 입항하는 선박들의 환적 적하물량으로 장치장에서 빠져나간다. 본 연구에서는 선박에서 내려져 그 배에 다시 실려지는 화물(선내이적)은 배제하였으므로 환적 양하화물은 반드시 후행 입항선박의 환적 적하화물의 역할만을 수행하게 된다. 사이클 기간동안 환적 화물을 싣는 선박수 p 는 $\lfloor T_s / T_a \rfloor$ 이며 <그림 6>에서와 같이 기준 선박이 적하하게 되는 환적 화물과 관련된 선박수는 p 와 일치한다.

장치허용기간 내의 마지막 선박에서 환적 적하작업이 종료되면 선박의 환적 양하물량은 0이 된다. 이때 환적 양하물량은 환적 적하물량을 적하하는 선박의 적하작업 시작 시점까지는 변동이 없다. 장치장에서 환적 컨테이너 화물 재고량 $S(t)$ 는 기준 선박의 환적화물을 기준으로 보면 $t_0 \leq t < t_1$ 기간 동안에는 양하작업이 발생하여 재고량이 증가하고 $t_1 \leq t < t_3$ 기간에서는 재고량의 변동이 발생하지 않는다. 그렇지만 $t_1 \leq t < t_2$ 기간 동안은 기준 선박에 대한 적하작업이 발생하여 선행 선박의 환적화물들이 감소하게 된다. $t_0 \leq t < t_1$ 와 $t_2 \leq t < t_3$ 구간에서는 선행 선박 환적화물의 변동이 발생하지 않는다. 따라서 환적 컨테이너 재고량 $S(t)$ 는 시점 t 의 구간에 따라 식 (2



<그림 6> 선박 입출항에 따른 환적화물의 재고량 변화

6)~(28)과 같이 유도된다.

$t_0 \leq t < t_1$ 인 경우에

$$S(t) = \frac{Q_s}{T_u} t + \sum_{k=1}^p \frac{p+1-k}{p} 6Q_s$$

$$= \frac{Q_s}{T_u} t + \frac{p+1}{2} Q_s \quad (26)$$

$t_1 \leq t < t_2$ 인 경우에

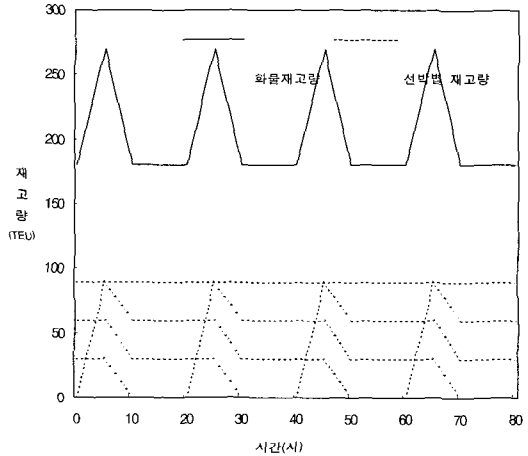
$$S(t) = Q_s + \sum_{k=1}^p \left(-\frac{Q_s}{pT_l} (t-t_1) + \frac{p-k+1}{p} Q_s \right) = \frac{p+3}{2} Q_s - \frac{Q_s}{T_l} (t-t_1) \quad (27)$$

$t_2 \leq t < t_3$ 인 경우에

$$S(t) = \sum_{k=1}^p \frac{p-k+1}{p} Q_s = \frac{p+1}{2} Q_s \quad (28)$$

예를 들어 $Q_s = 90$, $T_u = T_l = 5$ 시간, $T_a = 20$ 시간, 그리고 $T_s = 70$ 시간이라면 $p = 3$ 로 식 (26)~(28)을 이용하여 장치장의 재고를 추정할 결과를 <그림 7>과 같이 표시할 수 있다. 그림에서 점선으로 표시된 선은 선박별 재고량을 의

미하고 실선은 환적화물 전체 재고량의 변화를 보여준다.



<그림 7> 환적 화물의 재고량 추정

식 (25)~(27)을 정리하면 $S(t)$ 는 $t_0 < t \leq t_1$ 에서 단조증가이고 $t_1 < t \leq t_2$ 에서는 단조감소이고 $S(t_0) = S(t_2) = S(t_3)$ 이다. 따라서 사이클 내에서의 최소 재고량은 t_0, t_2, t_3 에서 그리고 최대 재고량은 t_1 에서 발생하며 h_{max} 는 Q_s 이다.

3. 수치실험 및 비교분석

제시된 수리모형은 컨테이너터미널의 설계과정에서 장치장 규모를 결정할 때에 제시된 연간물동량을 취급할 수 있는 소요공간을 분석할 수 있을 뿐만 아니라 운영 측면에서 화물별 장치허용일수나 하역작업 생산성을 결정할 경우 장치장의 보관 능력에 어떠한 영향을 미치는 지를 예측할 수 있다.

UNCTAD의 모형에서는 회전율의 개념을 사용해 장치장에서의 평균 재고량을 구한 다음 피크계수를 곱하여 소요 재고량을 구하였다. 여기서 피크계수는 특정 계절이나 요일에 화물이 폭주하거나 선박 입출항에 따라 화물이 집중되는 현상을 반영하기 위해 기존 터미널의 과거 실적을 분석하여 구한 수치이다. 그렇지만 본 연구에서 제시한 모형에서는 평균 재고량 외에도 선박 입출항에 따른 최대 재고량을 같이 구할 수 있으므로 피크계수를 사용하는 경우와 비교하여 화물 집중도의 효과를 보다 합리적으로 표현할 수 있다고 판단된다. 일반 수입, 일반 수출, 그리고 환적화물의 최대 재고량은 앞 절에서 정리하였고 화물별 평균 재고량은 각각

$$\int_0^{T_o} L(t)t dt, \int_0^{T_o} D(t)t dt, \int_0^{T_o} S(t)t dt$$

된다.

다만 수리모형에서 구해지는 평균 재고량 또는 최대 재고량이 장치장의 실소요공간을 의미하지는 않는다. 왜냐하면 터미널 운영의 효율성과 작업의 불확실성 등으로 인해 실제 소요공간과는 차이가 있기 때문이다. 또한 화물이 집중되는 최대 재고량은 일시적으로 발생하므로 이를 설계기준으로 할 경우 과도한 소요공간이 설정될 가능성이 높다.

본 장에서는 주어진 연간 물동량에 대해 회전율을 이용한 방법과 수리모형을 적용하였을 때의 차이를 비교하기 위해 수치실험을 해 보았다. 연간 물동량이 Q 이고 선박당 평균 작업량이 Q_v 라고 하면 선박당 도착 간격 시간은 $\frac{365Q_v}{Q}$ 일이다. 그

리고 반출입률이 일정하다고 가정하였으므로 평균 장치기간은 장치허용기간의 절반이 된다.

UNCTAD 모형에서 피크계수를 제외한 평균 재고량을 정의하면 식 (29)와 같다.

$$\frac{\text{연간 물동량} \times \text{장치허용기간}}{365 \times 24 \times 2} \quad (29)$$

입항 선박의 체류시간은 선박의 작업량이 많아지면 증가되고 적으면 감소하는 경향이 있지만 입항 선박에 대한 서비스 수준을 일정하게 유지할 수 있도록 안벽의 소요 자원이 지원된다고 가정하여 양적하 작업에서의 소요시간을 일정하게 두고 재고량을 분석하였다. UNCTAD 모형에 대해서는 피크계수가 적용되어야 하지만 본 연구에서는 피크계수를 고려하지 않은 평균 재고량을 수리모형에서 구한 최대 재고량과 비교하였다.

<표 1>은 식 (2)~(13)을 통해 정리한 일반 수입화물에 대해 연간취급물동량, 선박의 평균 작업량과 장치허용기간을 변화시켰을 경우 회전율 개념을 이용하여 구한 평균 재고량을 나타낸 것이다. 양적하작업시간을 각각 6시간으로 가정할 때 <표 2>에서는 본 연구에서 제시한 수리모형을 이용하여 구한 최대 재고량을 정리하였다. 양적하 작업시간을 동일하게 가정할 경우 식 (14)~(22)를 적용하는 일반 수출화물의 경우에도 <표 2>와 같은 결과를 얻었다. 최대 재고량은 평균 재고량에 비해 당연히 큰 값을 나타낸다. 연간 물동량과 장치허용일수, 선박당 평균 작업량이 늘어나면 최대 재고량도 증가하게 된다. <표 3>에서는 평균 재고량에 대해 최대 재고량의 증가비율을 정리하였는데 수리모형의 최대 재고량은 장치허용일수의 요인에 비해 연간 물동량의 영향이 적다는 점을 알 수 있다. 선박당 평균 작업량의 경우에 최대 재고량의 증가에 미치는 증가분은 적지만 선박당 작업량이 증가하게 되면 일시적인 화물 집중화에 따라 최대 증가량은 증가함을 보여준다.

<표 4>와 <표 5>에서는 일반 수출입화물에 대

〈표 1〉 회전율 개념을 이용한 일반 수입화물의 평균 재고량

(단위 : TEU)

장치허용일수 \ 연간 물동량	20만 TEU	30만 TEU	40만 TEU	50만 TEU
3일	822	1233	1644	2055
4일	1096	1644	2192	2740
5일	1370	2055	2740	3425
6일	1644	2466	3288	4110
7일	1918	2877	3836	4795

해 연간취급물동량이 40만 TEU, 선박의 평균 작업량이 1400 TEU, 그리고 장치허용기간이 5일인

경우 양적하작업시간을 변화시켰을 때의 최대 재고량을 정리하였다. 화물별 최대재고량을 살펴보면

〈표 2〉 수리모형을 이용한 일반 수입화물의 최대 재고량

(단위 : TEU)

선박당 평균 작업량 \ 장치허용일수	연간 물동량	20만 TEU	30만 TEU	40만 TEU	50만 TEU
1000 TEU	3일	1475	1950	2425	2900
	4일	1756	2363	2969	3575
	5일	2005	2766	3513	4262
	6일	2300	3167	4056	4953
	7일	2543	3571	4600	5629
1200 TEU	3일	1624	2048	2486	2997
	4일	1818	2436	3054	3672
	5일	2143	2878	3612	4346
	6일	2386	3280	4165	5044
	7일	2676	3669	4715	5737
1400 TEU	3일	1724	2121	2645	3088
	4일	1993	2587	3180	3773
	5일	2194	2948	3703	4458
	6일	2528	3390	4253	5142
	7일	2767	3793	4818	5827
1600 TEU	3일	1776	2295	2730	3198
	4일	2132	2664	3248	3897
	5일	2346	3091	3836	4582
	6일	2597	3485	4373	5261
	7일	2912	3902	4891	5936
1800 TEU	3일	1800	2436	2765	3335
	4일	2234	2727	3407	3990
	5일	2507	3215	3922	4632
	6일	2690	3579	4469	5358
	7일	2994	4014	5034	6053

〈표 3〉 평균 재고량 대비 최대 재고량의 증가비율

(단위 : %)

선박당 평균 작업량	연간 물동량				
	장치허용일수	20만 TEU	30만 TEU	40만 TEU	50만 TEU
1000 TEU	3일	79.4	58.2	47.5	41.1
	4일	60.2	43.7	35.4	30.5
	5일	46.4	34.6	28.2	24.4
	6일	39.9	28.4	23.4	20.5
	7일	32.6	24.1	19.9	17.4
1200 TEU	3일	97.6	66.1	51.2	45.8
	4일	65.9	48.2	39.3	34.0
	5일	56.4	40.0	31.8	26.9
	6일	45.1	33.0	26.7	22.7
	7일	39.5	27.5	22.9	19.6
1400 TEU	3일	109.7	72.0	60.9	50.3
	4일	81.8	57.4	45.1	37.7
	5일	60.1	43.5	35.1	30.2
	6일	53.8	37.5	29.3	25.1
	7일	44.3	31.8	25.6	21.5
1600 TEU	3일	116.1	86.1	66.1	55.6
	4일	94.5	62.0	48.2	42.2
	5일	71.2	50.4	40.0	33.8
	6일	58.0	41.3	33.0	28.0
	7일	51.8	35.6	27.5	23.8
1800 TEU	3일	119.0	97.6	68.2	62.3
	4일	103.8	65.9	55.4	45.6
	5일	83.0	56.4	43.1	35.2
	6일	63.6	45.1	35.9	30.4
	7일	56.1	39.5	31.2	26.2

일반 수입화물은 적하작업시간에 그리고 일반 수출화물은 양하작업시간에 관련됨을 알 수 있다. 그

러나 환적화물의 경우에는 양적하작업시간과 최대 재고량은 무관했다. 이는 최대 재고량을 구하기 위

〈표 4〉 양적하 작업시간 변화에 따른 일반 수입화물의 실험결과

적하작업시간(시)	양하작업시간(시)				
	4	6	8	10	12
4	3610	3610	3610	3610	3610
6	3703	3703	3703	3703	3703
8	3796	3796	3796	3796	3796
10	3890	3890	3890	3890	3890
12	3983	3983	3983	3983	3983

〈표 5〉 양적하 작업시간 변화에 따른 일반 수출화물의 실험결과

적하작업시간(시) \ 양하작업시간(시)	4	6	8	10	12
4	3610	3703	3796	3890	3983
6	3610	3703	3796	3890	3983
8	3610	3703	3796	3890	3983
10	3610	3703	3796	3890	3983
12	3610	3703	3796	3890	3983

해 식 (27)의 t 에 t_1 을 대입할 경우 $S(t)$ 가 작업생산성(양적하작업시간 및 작업 완료 시점)과는 무관한 $\frac{p+3}{2} Q_s$ 로 표현될 수 있는 점에서도 알 수 있다.

4. 결론 및 추후연구

지금까지 장치장 소요 공간에 대한 연구들에서는 연간 물동량에 대해 화물의 평균 장치기간을 나눈 장치장의 평균 회전율에 피크계수를 고려하여 소요 재고량을 산정하거나 신뢰성 있는 통계량을 구하기 위해 비용과 시간이 많이 소요되는 시뮬레이션을 주로 이용하였다. 특히, 평균 회전율을 사용하는 방법은 터미널 계획시에 중요하게 고려되는 입항 예정 선박과 터미널의 처리 능력에 관련된 특성들을 구체적으로 포함하지 못할 뿐만 아니라 선박의 입출항에 따라 발생하는 화물의 집중화를 합리적으로 설명하지 못하였다.

본 연구에서는 컨테이너 터미널의 장치장 소요 공간 추정을 위해 필요한 장치장에서의 화물 재고량을 다루었다. 화물 재고량에 밀접한 관련을 맺는 요인으로 선박의 도착간격, 선박의 작업량, 양적하 작업 생산성 그리고 장치허용기간을 고려하였다. 그리고 장치장에서의 반출입 패턴에 따라 화물을 일반 수입화물, 일반 수출화물 그리고 환적화물로 구분하여 각각에 대한 수리모형을 제시하였다.

연간 작업량, 장치허용기간, 선박의 평균 작업량 그리고 작업 생산성을 변화시키면서 회전율을 이

용한 평균 재고량과 제안한 수리모형의 최대 재고량을 비교하였다. 평균 재고량의 경우 연간 물동량과 장치허용일수가 정비례 관계이지만 수리모형에서는 증감분에 차이가 있었다. 수리모형에서는 장치허용기간이 연간 물동량, 선박당 평균 작업량, 양적하 작업시간에 비해 최대 재고량에 가장 많은 영향을 미쳤다.

본 연구에서는 도착간격시간, 선박당 작업량, 작업 생산성 등을 고정시킴으로써 확실적인 변동에 의해 발생될 수 있는 화물량의 집중을 고려하지는 못하였다. 따라서 특정 터미널의 실적자료를 통한 재고분석을 실시하기 위해서는 동적인 상황에 따른 우발적인 요인을 반영할 수 있는 확률적 모형에 대한 연구가 필요하다. 또한 장치장의 소요 공간을 산정할 때에는 화물 재고량 외에도 장치장 운영에서 발생하는 장치전략이나 운영여유 등이 많은 영향을 미친다. 따라서 보다 상세한 분석을 위해서는 이들을 고려할 수 있는 확장된 모델의 개발이 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 김홍배, 컨테이너 터미널의 수입 장치장 운영 정책, 박사학위 논문, 부산대학교, 1999.
- [2] Elizabeth, G.J., *Managing Containers Marine Terminals : An Application of Intelligent Transportation Systems Technology to Intermodal Freight Transportation*, Ph. D Dissertation, The University of Texas at

- Austin, 1996.
- [3] Frankel, E.G., *Port Planning and Development*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1987.
- [4] Roux, E.D., *Storage for Import Containers at Seaports*, Ph. D Dissertation, University of California at Berkeley, 1996.
- [5] Sauerbier, C.L. and R.J. Meurn, *Marine Cargo Operation*, John Willey & Sons, 2nd ed., 1985.
- [6] Taleb-Ibrahimi, M., *Modeling and analysis of container storage in port*, Ph. D Dissertation, University of California at Berkeley, 1989.
- [7] UNCTAD, *Port Development*, United Nations, 2nd ed., 1985.
- [8] Chung, Y.G., S.U. Randhawa and E.D. McDowell, "A Simulation Analysis for a Transcontainer-based Container Handling Facility," *Computers ind. Engng.*, Vol.14, No.2(1988), pp.113-125.
- [9] Silberholz, M.B., B.L. Golden and E.K. Baker, "Using Simulation to Study the Impact of Work Rules on Productivity at Marine Container Terminals," *Computers Ops. Res.*, Vol. 18, No.5(1991), pp.433-452.
- [10] Tongzon, J.L., "Determinants of Port Performance and Efficiency," *Transpn. Res.-A*, Vol. 29A, No.3(1995), pp.245-252.