

# 해상수송망에서 공 컨테이너의 재배치 및 보충정책 수립을 위한 시뮬레이션 모형의 개발

서순근 · 박준호

동아대학교 기계 · 산업시스템공학부

## Redistribution and Replenishment Policy of Empty Containers on Ocean Transportation Network

Sun-keun Seo · Jun-ho Kwak

Containerization of cargo transportation has been norm in the word wide maritime services, but containerized trades are typically unbalanced in terms of the number of inbound and outbound containers. Therefore it is critical for shipping companies to find operating policy such as the repositioning of empty containers or replenishing of short-term leasing containers from leasing companies to satisfy the freighter's demands of containers. This paper develops a simulation model using ARENA to establish shipping company's operational policy to relocate and replenish empty containers. Furthermore, this study proposes simple and heuristic empty container repositioning rules to minimize the relevant cost in terms of leasing, repositioning, and inventory holding costs.

### 1. 서론

컨테이너 터미널의 개발과 더불어 항구간 실제 수송을 담당하는 선사의 입장에서 화주의 컨테이너 수요 요구에 질 좋은 서비스를 제공하기 위해서는 효율적인 컨테이너 운용기술이 필요하다. 특히 대륙 및 국가 간 무역의 불균형으로 인해, 터미널 간 공 컨테이너의 흐름의 불균형을 피할 수 없으므로 선사는 수요에 적절히 대처하기 위해서 공 컨테이너를 재분배하거나 리스해야만 한다. 본 연구의 대상이 되는 부산항은 1998년 IMF의 영향으로 적재 컨테이너 물량이 29.3% 감소한 반면, 공 컨테이너의 물량이 76.6%가 급증(전체 컨테이너 취급 물량의 약 24%(141.3만TEU)하였으며, 이는 수출화주의 공 컨테이너 적기수급에 상당한 애로가 발생하고 있음을 보여주고 있다(한국 컨테이너 부두공단, 1999).

컨테이너 이동비용 중 약 40%가 재분배 및 리스비용이라는 점을 고려하면(Cranic *et al.*, 1993) 공 컨테이너의 효율적인 운용 정책이 얼마나 중요한지 알 수 있다. 이러한 공 컨테이너의 재분배시에 고려해야 되는 요소로서는 공 컨테이너에 대한 화주의 수요, 수송선 가용능력, 선박의 항해시간 등 여러 가지 불확실한 파라미터들이 있으며, 리스의 경우에도 특정 터미널에서

월간 가용한 사용 및 반납(pick up & drop off) 한계 리스 수량, 공 컨테이너의 반환량 등이 존재하고, 이외에 초기보유수량, 컨테이너 장치장(Container Yard ; CY)의 장치능력, 계획기간 등이 있다. 더욱이 화물운송계획 자체가 수송선이 실제 출항하기 7~25일 전에 수립되므로 컨테이너 흐름의 불균형을 해소하기 위하여 적절한 공 컨테이너 재분배(Container Allocation ; CA) 정책을 수립하는 것은 쉽지 않다.

내륙수송과는 달리 해상수송에서의 공 컨테이너의 재분배는 여러 가지 제약조건들로 인하여 효율적인 운용정책을 수립하기 위한 수리적 모형의 개발은 용이하지 않으며 제약조건들이 많아질 경우 거의 불가능하게 된다(Lai. *et al.*, 1986; Shen and Khoong, 1995). 본 연구에서는 국내선사의 관심이 집중되고 있지만 계량적이고 과학적 접근방법의 활용이 미흡한 컨테이너 해상수송망을 대상으로 공 컨테이너의 효율적 관리를 위한 시뮬레이션 모형을 구축하고 이를 현장에서 쉽게 활용할 수 있도록 재배치 및 보충 규칙을 설정하는 구체적 절차를 제공하고자 한다.

즉, 본 연구는 부산항을 중심으로 공 컨테이너 운용을 위해 소요되는 계산량에 비해 실용적인 최적해를 찾기 힘든 수리적 네트워크 모형(신한원, 김성국, 1995; Cheung and Chen, 1998; Florez, 1986; Powell, 1986; White, 1972)을 수립하기보다는 실제

운용시 적용가능한 파라미터를 대부분 반영하여 공 컨테이너의 재고관리 및 보충 규칙을 설정할 수 있는 시물레이션 모형을 구축하고, 여러 가지 운용정책 대안들에 대한 시물레이션을 수행하여 공 컨테이너의 실용적 운용정책을 제시하며, 수치실험을 통한 결정변수의 수준을 설정하는 절차를 예시하고자 한다.

## 2. 공 컨테이너의 재분배 및 보충 모형

### 2.1 컨테이너 수송체계

#### 2.1.1 컨테이너의 수송경로

컨테이너의 수송경로를 간략하게 기술하면 다음과 같다. 화주의 요청에 의해 인근 내륙의 중간배송지(이하, depot)나 항만 인근의 depot에서 공 컨테이너가 보내지면 화물이 적재되어 선박 출항일 전에 항만 터미널로 보내져 선박에 선적된 후 예정된 해상 수송경로를 따라 도착지 터미널에 도착하게 된다. 터미널에 도착된 적재 컨테이너는 하역작업을 거친 후 인근 depot로 이송된 다음 내륙의 중간 depot로 이송되거나 직접 수하인에게 인도되어 공 컨테이너가 되며, 다시 중간 depot나 터미널 인근 depot로 이송된다.

컨테이너 수송경로로서 대별하면 육상수송과 해상수송으로 분류할 수 있다. 대륙간에 차이는 있지만 극동지역의 경우 육상수송은 각 항만을 단위로 독립적인 수송체계를 가진다고 볼 수 있다. 즉, 항만을 컨테이너의 유입/유출 노드로 하여 내륙의 각 depot들과 화주들을 연결하는 수송 네트워크 체계를 가지게 된다. 따라서 전체 컨테이너 수송체계의 견지에서 보면 내륙수송은 해당 항만을 중심으로 하나의 독립된 수송망을 형성한다고 볼 수 있으므로 전체 컨테이너 수송체계는 각 항만을 노드로 하여 연결되는 해상 수송 네트워크 시스템으로 단순화할 수 있다. 본 연구에서는 이와 같이 내륙수송을 하나의 노드로 간주한 해상 수송 네트워크에 국한하고자 한다.

#### 2.1.2 컨테이너의 분류 및 관련비용

컨테이너는 소유주에 따라 선주소유, 화주소유, 단기리스, 장기리스(3~5년)로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 장기리스는 선사의 장비로 취급하여 운용계획을 수립할 수 있으므로, 단기리스 컨테이너만을 임시 조달 가능한 리스 컨테이너로 간주한다.

본 연구에서 고려되는 비용으로는 재배치 및 리스비용, 재고유지비용 등이 있다. 재배치에 관련된 비용은 수송비, 선적 및 하역비, 보관비 등이 있는데 이는 대륙 간, 국가 간에 상당한 차이가 있다. 리스비용은 고정비와 변동비로 구분할 수 있으며, 고정비는 사용 및 반납비용과 조사비용, 수리비용, 수송비용 등이 있고, 변동비에는 1일당 임대료와 추가요금 등이 있다. 그리고 재고유지비용은 단위기간별로 산정되며 터미널에 따

라 약간의 차이가 있다.

### 2.2 공 컨테이너 부족시 정책

공 컨테이너가 부족할 경우 선사의 입장에서는 고객의 수요 요구에 유연하게 대처하고, 품질 등의 기회손실을 줄이기 위하여 공 컨테이너를 선박의 일정이나 거리, 재배치 비용요소(수송비, 보관비, 선적 및 하역비) 등을 고려하여 재배치 해야 한다. 이것도 여의치 않을 경우 공 컨테이너를 단기리스 하거나 협력업체(동맹선사)로부터 긴급 조달한다(선사간 거래).

본 연구에서는 터미널을 컨테이너의 흐름에 따라 세 가지 유형으로 분류하고 다음과 같은 운용정책을 수립하였다.

#### 2.2.1 터미널의 분류

터미널을 선사의 공 컨테이너 재고관리 측면에서 분류하면 터미널 간 컨테이너 흐름의 불균형을 고려하여 다음과 같이 세 가지 유형으로 분류한다.

- (1) 과잉 터미널(surplus terminal) : 적재 컨테이너의 유입이 유출보다 많아서 과잉의 공 컨테이너를 보유하게 되는 터미널.
- (2) 부족 터미널(shortage terminal) : 적재 컨테이너의 유출이 유입보다 많아서 공 컨테이너가 부족하게 되는 터미널.
- (3) 혼합 터미널(hybrid terminal) : 적재 컨테이너의 유출과 유입량의 상대적 차이가 변동하여 상황에 따라 공 컨테이너가 과잉 혹은 부족하게 되는 터미널.

<그림 1>은 공 컨테이너의 수요와 공급형태를 고려한 터미널의 유형에 따른 공 컨테이너의 재배치 흐름을 보여주고 있다. <그림 1>에서와 같이 과잉 터미널인 j, m, o는 적재 컨테이너의 유입이 유출보다 많게 되므로 항상 과잉의 공 컨테이너를 다른 부족 혹은 혼합 터미널로 보내게 되는 경우가 자주 발생되며, 부족 터미널인 k, l, n은 적재 컨테이너의 유출이 유입보다 많으므로 부족한 공 컨테이너를 다른 과잉 혹은 혼합 터미널에서 공급받게 되고, 이런 재배치가 불가능하면 리스하게 된다. 혼합 터미널인 i, p는 터미널의 과잉 혹은 부족 상황에 따

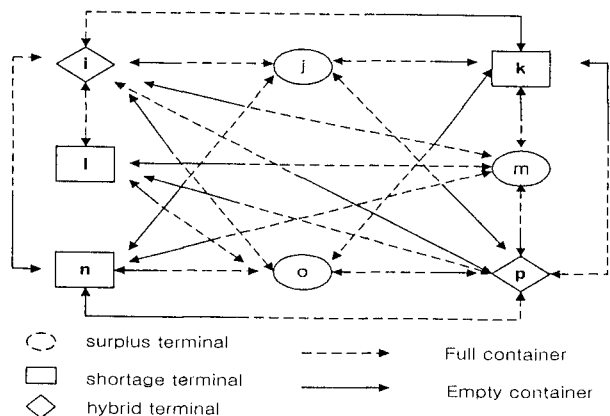


그림 1. 터미널의 유형에 따른 컨테이너의 이동 양상.

라서 보내기도 하고 받기도 하며 리스하기도 한다.

2.2.2 터미널의 유형에 따른 운용정책

(1) 과잉 터미널의 운용정책

과잉 터미널의 경우 시간이 경과함에 따라 증가하게 되는 공 컨테이너의 수량을 줄이기 위하여 근간 사용될 것으로 예측되는 적정수량의 공 컨테이너를 제외하고는 가능한 한 공 컨테이너를 보유하지 않아야 한다. 즉, 반납재고수준(return stock level) 이상의 공 컨테이너는 수송량의 경제단위와 수송선의 가용능력을 고려하여 중심항(hub port) 또는 출발지 터미널 또는 부족 터미널 등으로 이동시키고, 리스 컨테이너는 반납 개수 한계를 고려하여 반환한다.

(2) 부족 터미널의 운용정책

부족 터미널의 경우 시간이 경과함에 따라 발생하게 되는 공 컨테이너의 부족 현상을 피하기 위하여, 조달기간(lead time) 동안 사용될 것으로 예측되는 수량까지 공 컨테이너의 보유수량이 감소하게 되면 다른 터미널에 공 컨테이너를 요청하거나 리스한다. 부족 터미널에서는 적재 컨테이너의 유입이 유출보다 적게 되어 재고수준(inventory level)이 안전재고(safety stock level) 또는 재 주문재고수준(reorder inventory level) 아래로 떨어지게 되므로 향후 발생할 수 있는 컨테이너의 품질을 방지하거나 재배치 비용을 줄이기 위해 이 수준 이하로 재고수준이 떨어질 경우 중심항이 되는 터미널이나 인접항에 공 컨테이너를 요청하게 된다. 그리고 공 컨테이너의 수요가 현 재고수준을 초과하면 다른 과잉 혹은 혼합 터미널 등에 공 컨테이너의 재배치를 요청하고, 만일 재배치가 불가능하면 리스한다.

(3) 혼합 터미널의 운용정책

혼합 터미널은 과잉 및 부족 터미널의 운용정책을 혼용하여 운영한다. 즉, 반납재고수준과 안전재고수준을 모두 설정하고, 새로이 컨테이너를 리스하거나 타 터미널로 공 컨테이너를 요청할 수도 있고 재배치할 수도 있다.

2.3 제약조건 및 비용요소

2.3.1 수송선 가용능력

수송선은 적재 컨테이너를 주된 선적대상으로 하므로 언제나 필요한 만큼 공 컨테이너를 수송할 수 없을 뿐만 아니라 공 컨테이너만을 선적하여 운항하는 경우는 없다. 따라서 수송선에는 적재 컨테이너를 선적하고 난 후 여유공간에 공 컨테이너를 선적할 수 있다.

2.3.2 반납개수 한계(drop-off limitation)

리스한 컨테이너의 반환시에 단위기간(주로 월 단위)별로 제한이 있을 수 있다. 이는 주로 리스회사와의 계약시 약정되게 되고, 터미널의 위치에 따라 각기 다른 제한을 가지게 된다.

2.3.3 컨테이너의 크기

컨테이너의 크기는 20 ft와 40 ft로 구분한다. 공 컨테이너의 수요도 두 가지 크기로 구분하여 예측하며, 일반적으로 20 ft 컨테이너가 2개 부족할 경우 40 ft 1개로 대체가 허용되지만 40 ft 1개가 부족할 경우 20 ft 2개로의 대체가 허용되지 않을 수도 있으므로 이런 제약조건을 시뮬레이션 모형에 포함시켰다.

2.3.4 공 컨테이너의 수요 만족조건

모든 수요는 만족되어야 한다고 가정한다. 화주의 수요를 만족하지 못할 경우에 거래가 단절되고 기업의 이미지가 손상되어 발생하는 손실이 매우 크므로 이를 방지하기 위해 중심항이나 과잉 터미널 등으로부터 재배치하거나 불가능할 경우에는 단가리스한다.

2.3.5 확률변수로 표현되는 입력 파라미터

확률적 요소로는 화주의 수요, 공 컨테이너의 반환량, 수송선의 가용능력, 선박의 항해시간 등이 있으며, 확정적 요소로는 선박일정, 초기보유수량, CY의 장치능력, 계획기간, 사용 및 반납개수 한계 등이 있다. 일반적으로 항만 터미널의 운영측면에서 볼 때 확률변수로 나타낼 수 있는 것은 화주의 수요, 공 컨테이너에 대한 수송선 가용능력, 선박의 항해시간, 공 컨테이너의 반환량 등이 있으나, 컨테이너 수요가 확정되고 재배치 및 보충 규칙이 정해지면, 반환량과 수송선의 공 컨테이너의 가용능력 등이 결정될 수 있다. 또한 항해시간 등은 기상, 항만터미널 사정 등의 상황하에서만 변화가 생길 수 있지만 모형의 성능에 큰 영향을 끼치지 않으므로 본 연구에서는 화주의 수요만 확률적 요소로 간주한다.

2.3.6 공 컨테이너의 재배치 및 보충 규칙

부족과 과잉 터미널에서 안전재고수준 미달 또는 반납재고수준 초과시, 그리고 돌출수요 발생시 선사가 채택할 수 있는 재배치 및 보충 규칙을 열거하면 다음과 같다.

(1) 부족 터미널의 재배치 규칙

① 안전재고수준 미달시 재배치 요청시

- 부족 터미널 중에서 서순근, 이병호(1998)의 방사형 물류체계의 개념을 도입하여 중심항을 선정한다. 즉, 과잉 터미널의 공 컨테이너는 중심항으로 보내지므로, 중심항이 아닌 부족 터미널에서 안전재고수준을 충족시키기 위해서는 중심항에 재배치를 요청한다.
- 중심항 또는 과잉 터미널에서는 다수 터미널에서 동시에 재배치 요청이 있을 경우 리스를 통한 보충비용이 재배치 비용보다 높을 경우가 일반적이므로 리스비용이 높거나 또는 리스비용에 대해 재배치 비용을 차감한 값이 높은 터미널에 우선적으로 재배치한다 등.

② 돌출수요 발생시 재배치 요청시

- 부족 터미널은 중심항의 안전재고수준을 고려하여 안

전재고수준 이상의 재고를 보유하고 있을 경우 중심항에 재배치를 요청한다.

- 부족 터미널은 조달기간과 거리 및 비용을 고려하여 가장 유리한 터미널에 우선적으로 재배치를 요청하거나 이 기준으로부터 미리 정한 터미널의 우선순위에 따라 재배치를 요청한다.
- 특정 터미널에서 동시에 공 컨테이너로 요청한 모든 부족 터미널의 요구를 만족시킬 수 없으므로 터미널은 리스비용이 높거나 리스비용으로부터 재배치 비용을 차감한 값이 높은 터미널에 우선적으로 재배치한다.
- 이상의 재배치가 가용하지 않을 경우에는 단기리스한다, 등.

(2) 과잉터미널의 재배치 규칙

① 반납재고수준 초과시 재배치

- 과잉 터미널은 부족 터미널 중에서 선정된 중심항으로 반납재고수준 이상의 공 컨테이너를 재배치한다.
- 또는 이 수준 이상의 공 컨테이너를 적재된 출발지 터미널로 반납한다.
- 다수의 중심항이 있는 경우 반납되는 중심항 중의 선택 기준은 리스비용과 이동거리를 고려하여 선택한다.
- 반납장소와 개수에 대한 단기리스 계약에 따라 리스회사에 반납한다.

② 돌출수요 발생시 재배치 요청

- 부족 터미널의 경우와 유사

2.3.7 운영정책

본 연구에서는 공 컨테이너의 재배치 및 보충 정책이 되는 부족, 과잉, 혼합 터미널의 안전재고 및 반납재고수준을 각 터미널의 컨테이너 수요와 터미널 간의 컨테이너의 흐름에 따라 발생하는 공 컨테이너 관련 비용, 즉 단위 기간당 리스비, 재고 유지비, 재배치 비용의 합을 기대치(식 (1))를 최소화 하도록 결정하고자 한다.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^l \left[ \sum_{j=1}^m cl_j E[LN_j(t)] + \sum_{i=1}^m \sum_{j \neq i}^m cr_{ij} E[RN_{ij}(t)] + \sum_{j=1}^m ci_j E[IN_j(t)] \right] / l \quad (1)$$

여기서,

- $LN_j(t)$ : 터미널  $j$ 에서  $t$ 시점에서의 리스 컨테이너 수량
- $cl_j$ : 터미널  $j$ 에서 단위기간당 컨테이너 한 단위 리스비용
- $RN_{ij}(t)$ : 터미널  $i$ 에서 부족 터미널  $j$ 까지  $t$ 시점에서 재배치 수량
- $cr_{ij}$ : 과잉 터미널  $i$ 에서 부족 터미널  $j$ 까지 단위기간당 컨테이너 한 단위 재배치 비용
- $IN_j(t)$ : 터미널  $j$ 에서  $t$ 시점에서의 재고 수량

- $ci_j$ : 터미널  $j$ 에서 단위기간당 컨테이너 한 단위 재고 유지비용
- $m$ : 터미널의 수
- $l$ : 계획 기간

따라서 식 (1)을 최소화하는 부족 터미널의 안전재고수준, 과잉 터미널의 반납재고수준, 혼합 터미널의 두 수준이 설정되면 이를 기준으로 전술된 재배치 및 보충 규칙 중에서 선택된 방법에 따라 단위기간별로 각 터미널에서 재배치되는 수량과 단기리스되는 공 컨테이너 개수, 재고량이 산출되므로 식 (1)의 각 요소비용이 산정된다.

2.4 터미널 운영정책에 영향을 미치는 주요 결정변수

2.4.1 안전재고수준과 반납재고수준

과잉 터미널의 경우 공 컨테이너의 반납재고수준을 결정하고 부족 터미널의 경우 안전재고 수준, 혼합 터미널에서는 반납 및 안전재고수준을 결정한다.

2.4.2 부족 터미널의 재배치 및 보충 규칙

전절의 공 컨테이너의 재배치 및 보충 규칙과 선사로부터 수집된 정보를 고려하여 본 연구에서는 부족 터미널의 안전재고수준 미달 또는 수요 부족시 재배치 및 보충 규칙으로 다음과 같은 세 가지 방법으로 설정하였다.

(1) 규칙 1(중심항 선정)

- 부족 터미널 중에서 선정된 중심항에 과잉 터미널의 공 컨테이너를 보낸다.
- 중심항이 아닌 부족 터미널은 안전재고수준을 충족시키기 위해 중심항에 재배치를 요청한다.
- 리스비용이 높은 터미널에 우선적으로 재배치한다.

(2) 규칙 2(재배치를 요구받는 터미널 입장)

- 부족 터미널에서 선적된 적재 컨테이너는 과잉 터미널에서 공 컨테이너가 된 후 출발지 부족 터미널로 보내어진다.
- 부족 터미널은 안전재고수준을 충족시키기 위해 안전재고 수준이상의 공 컨테이너를 보유하고 있는 터미널에 재배치를 요청한다.
- 재배치를 요청 받은 터미널은 리스비용 및 재배치비용을 고려하여 가장 유리한 곳에 우선 재배치한다.

(3) 규칙 3(재배치 요청 터미널 입장)

- 부족 터미널에서 선적된 적재 컨테이너는 과잉 터미널에서 공 컨테이너가 된 후 출발지 부족 터미널로 보내어진다.
- 요청된 공 컨테이너는 재배치를 요청한 터미널 입장에서 터미널 간에 재배치 비용을 고려하여 미리 정해진 할당우선 순위에 따라 재배치한다.

2.4.3 수요의 불확정성 고려방법

각 터미널별로 컨테이너 수요의 분포가 다르므로 대표적인 통계적 측도인 수요의 중심위치(평균)와 변동의 측도를 적절히 고려해야 한다. 즉, 안전(반납) 재고수준을 주당 평균수요의 배수로 설정하므로써 각 터미널 수요 분포의 대표값이 고려될 수 있으며, 수요의 변동량을 고려하는 방법으로 변동계수(CV)와 Entropy를 이용하고자 한다.

수요가 식 (2)와 (3)의 Poisson 분포와 Gamma 분포를 각각 따를 때,

Poisson 분포 :

$$f(x) = \frac{e^{-m} m^x}{x!}, \quad x = 0, 1, 2 \dots$$

단,  $\mu = m, \sigma^2 = m$  (2)

Gamma 분포 :

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)\theta^\alpha} e^{-\frac{x}{\theta}}, \quad x > 0$$

단,  $\mu = \alpha\theta, \sigma^2 = \alpha\theta^2$  (3)

각 터미널별로 수요의 분포 또는 모수가 다르므로 안전재고수준 설정시 수요의 변동량을 고려하는 방법으로 먼저 변동계수(CV)를 이용하여 Poisson과 Gamma 분포인 경우에 식 (4)~(6)과 같이 설정할 수 있다.

Poisson 분포일 경우 :

$$CV = \frac{\sqrt{m}}{m} = \frac{1}{\sqrt{m}} \quad (4)$$

Gamma 분포일 경우 :

$$CV = \frac{\sqrt{\alpha\theta}}{\alpha\theta} = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \quad (5)$$

CV를 반영한 안전재고수준 :

$$(주어진 안전재고수준) \times \left( 1 + k \times \frac{\text{해당 항구의 CV}}{\text{최대 항구의 CV}} \right) \quad (6)$$

$k$ 는 공 컨테이너 재배치 및 보충시 예측된 수요와 출항 직전까지 발생하는 실제 수요의 차이를 반영하는 수요의 불확정계수로 선사와 동종기업의 실적자료를 고려하여 설정할 수 있다.

그리고 불확정성(uncertainty)을 평가하는 Shannon의 Entropy (Pal, 1997)를 고려한 안전재고수준 설정 방법은 식 (7)~(8)과 같다.

$$\text{Entropy} = - \sum_{i=0}^{\infty} P_i \log P_i \quad (7)$$

단,

$$P_i = \begin{cases} \Pr\{X = i\} & : \text{Poisson 분포} \\ \Pr\left\{i - \frac{1}{2} \leq X < i + \frac{1}{2}\right\} & : \text{Gamma 분포} \end{cases}$$

Entropy를 반영한 안전재고수준 :

$$(주어진 안전재고수준) \times \left( 1 + k \times \frac{\text{해당 항구의 Entropy}}{\text{최대 항구의 Entropy}} \right) \quad (8)$$

3. 시뮬레이션 모형 구축 및 수치실험

3.1 수집된 자료의 분석

본 연구에서는 부산항을 중심으로 운항하는 국내의 선사들을 대상으로 설정하였으며, 국내의 선사들은 주로 북미 및 유럽노선을 주된 수송경로로 하여 각 대륙으로 컨테이너를 운송한다. 본 연구에서는 국내 대형 2개 선사의 과거 수년간의 실제 기항지별 물량 데이터를 분석한 결과 북미노선의 경우 부산, 홍콩 등이 부족 터미널의 성향을 띠고 있었고, 뉴욕, 롱비치 등은 과잉 터미널의 성향을 띠고 있었다. 유럽노선의 경우 부산, 싱가포르, 홍콩 등이 부족 터미널이며, 펠릭스토우, 함부르크, 로테르담 등이 과잉 터미널이다. 따라서 주로 아시아권은 수출물량이 수입물량보다 많은 전형적인 부족 터미널이라는 것을 알 수 있으며 혼합 터미널로 분류될 수 있는 항구는 없었다.

그리고 선박의 운항시간은 2개 항로 모두 평균적으로 편도 약 30일의 운항기간을 가지며 1년에 약 5~6회 연중 무휴로 유럽과 북미 노선 모두 다양한 선박 톤수별(5,300, 4,300, 2,700 TEU급)로 총 5~6척의 선박으로 운항하고 있었다.

실용적인 모형을 구축하기 위하여 실제 선사의 기항지 내 항구별 처리물량 자료를 바탕으로 하여 북미노선 및 유럽노선에 방사형 수송체계의 센터개념을 도입하여 2개 이내의 항구(북미노선의 경우 부산, 홍콩, 유럽노선의 경우 부산, 싱가포르)를 중심항으로 선정하여 모형을 구축하고자 한다.

노선은 유럽과 북미 2개 노선으로 연중 6회 이내 왕복 운항하는 일정으로 시뮬레이션의 범위를 결정하였다. 그리고 현실적인 요소를 반영하기 위하여 위의 2개 노선의 이동경로 및 이동시간 항해일정 등을 실제와 유사하게 선박운항일정으로 설정하였다. 그리고 운항노선의 기항지 중 전 항구에서 컨테이너 리스가 가능하더라도, 주로 아시아 지역에서만 리스를 하고 미주지역 및 유럽지역에서는 거의 리스를 하지 않고 있다. 리스계약시 최소 리스물량 및 최대 리스물량에 대한 제약은 단기리스의 경우 50개 정도(리스계약도 50개 단위로 하는 경향이 있음)이고, 장기리스의 경우 500개 정도(리스계약을 100개 단위로 하는 경향이 있음)이며, 리스물량에 대한 최대한계는 없는 것으로 나타났다. 리스 컨테이너 반납시 장소 및 개수에 대한 제약은 리스계약시 반납장소에 대한 조항을 명시(주로 아시아 지역으로 함)할 수 있으며 반납 개수는 계약 만료 1주일 전에 선사가 통보하면 리스사와 의견절충 후에 반납하는 것으로 파악되었다.

### 3.2 시뮬레이션 모형의 구축

시뮬레이션 모형 구축시 컨테이너의 수요가 모형의 결과에 가장 큰 영향을 미치므로 본 연구에서는 과거자료와 연구, 이론적 측면에서 대상 분포가 될 수 있는 Poisson, 감마(Gamma), 정규 및 대수정규(lognormal)분포 등을 수요 분포로 활용할 수 있도록 시뮬레이션 모형에 포함시켰다.

또한, 시뮬레이션 모형 구축시 고려한 기타사항으로는 부족 터미널 간의 공 컨테이너를 재배치할 경우 자선사의 항해일정이 재배치 시점과 일치하지 않을 수도 있지만 정기노선 외의 자선사 선박 또는 타선사의 선박을 이용하며 공 컨테이너를 선적할 수 있다고 가정하였다.

본 모형에서는 먼저 과잉 터미널에서 화주의 수요가 발생할 경우 현 보유재고가 수요를 만족시킨다면 공 컨테이너는 육상의 화주에게로 이동되며, 수요를 만족시키지 못할 경우 출항 전 선박의 운항일정에 따라 도착된 적재 컨테이너가 있는지를 확인한다. 만약 수요를 만족시키지 못한다면 공 컨테이너를 단기리스해야 한다. 화주에게로 공 컨테이너를 이동시킨 후 재고수준을 계산하고 반납재고수준과 비교하여 채택된 재배치 규칙에 따라 회송 또는 재배치 여부를 결정한다. 부족 터미널에서는 화주의 수요가 발생할 경우 재고가 수요를 만족하면 육상의 화주에게로 공 컨테이너를 이동시키고, 만족하지 않을 경우 재배치 및 적재 컨테이너로 수요가 만족되어질 수 있는지를 확인한다. 이 수요가 만족되면 화주에게로 공 컨테이너를 이동시키고, 만족되지 않는다면 단기리스한다. 화주에게로 컨테이너를 이동시킨 후 재고수준을 계산하고 안전재고수준과 비교하여 안전재고가 재고수준보다 크면 채택된 재배치 규칙에 따라 공 컨테이너를 요청하거나 리스를 통하여 보충한다. 그리고 프로그램 작성시 단위기간은 1주일로 설정하였으며 시뮬레이션 모형의 구축은 시뮬레이션 전문언어의 하나인 ARENA Ver. 3.5(Kelton et al., 1998)를 이용하여 프로그래밍 하였다.

### 3.3 수치실험

#### 3.3.1 수치실험 개요

운항선박의 수는 북미 및 유럽노선 각각 6척으로 하였고, 적재율은 적재톤수의 100%로 선정하였다. 시뮬레이션의 단위기간은 1주이며 선박의 기항간격은 2주로 설정하였다. 운항노선은 북미노선의 경우 P→J→L→N→L→J→P→K→H→P, 유럽노선은 P→K→H→S→F→R→F→S→H→K→P 이며, 운항시간은 항구의 입출항 시간을 포함하여 북미노선의 경우 J↔L, L↔N의 2주 외는 각 항구 간 1주, 유럽노선의 경우 S↔F의 3주 외는 각 항구 간 1주로 설정하였다. 컨테이너의 수요 만족조건으로 수요는 2주 후에 출발하는 선박을 대상으로 예측되어 출발 1주 전에 확정된다고 가정함으로써, 최대 1주일 후 가용할 수 있는 공 컨테이너(재배치 포함)까지 현 수요를 충족시키기 위하여 사용할 수 있다. 하역된 적재 컨테이너는 아시아지

역 항만의 경우 1주 뒤, 미주지역 및 유럽지역의 경우 4주 후 공 컨테이너가 되어 터미널로 돌아온다고 가정하였으며, 아시아 권에서는 1주일 내에 재배치가 가능하다고 가정하였다.

각 항구별 초기보유량과 보유비율은 각 항구의 선사의 입장에서 볼 때 주당발생 수요의 비율에 기초하여 일정비율을 지정하였다. 북미노선 및 유럽노선의 초기 컨테이너 보유 비율은 P, J, K, H, L, N이 3 : 1 : 1 : 2 : 1 : 2, 유럽노선 P, K, H, S, F, R 이 3 : 1 : 1 : 2 : 1 : 2 이며 컨테이너의 크기별(20, 40 ft) 비율은 개수를 기준하여 4 : 6으로 설정하였다.

또한 각 터미널의 개당 리스비용(pick up/drop-off 비용, 단위기간당 리스비로 구분), 각 터미널 간 재배치 비용, 각 터미널에서 재고유지비용을 수집된 자료를 이용하여 터미널별로 20 ft와 40 ft로 구분하여 산정하였다.

#### 3.3.2 실험결과와 분석

구축된 ARENA 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 각 터미널의 안전재고 또는 반납재고수준을 설정하는 수치실험을 실시하였다.

각 터미널의 안전재고 및 반납재고수준은 전술한 바와 같이 터미널의 주당 평균수요의 배수로 설정하고자 하며 예비실험을 한 결과 기대한 바와 같이 두 운항노선에 포함된 과잉 터미널의 반납재고수준이 "0"일 때 관련 비용을 최소화하고 있어 이 값을 반납재고수준으로 설정하였다.

시뮬레이션 실험에서 안정상태 성능측도를 구하기 위해 시뮬레이션 1회 수행기간을 1,000주로 정하고 warming up time으로서 초기 100주를 제외하였다.

실험의 수행은 모든 터미널의 컨테이너 수요가 각각 Poisson과 Gamma의 두 분포를 따른 경우에 초기보유대수 25,000, 40,000TEU로 설정하고 재배치 규칙 2를 이용하여 각 안전재고수준(0%~100%, 10%씩 증가)에서 3회 반복 실험한 결과를 리스비용(LC), 재배치비용(RC), 재고유지비용(IC), 총비용(Total)을 <그림 2> ~ <그림 5>와 같이 도시하였다.

실험결과를 고찰하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) 초기보유대수가 적을 경우(25,000TEU)는 수요가 각각 Poisson 분포와 Gamma 분포를 따른 경우 총비용을 최소

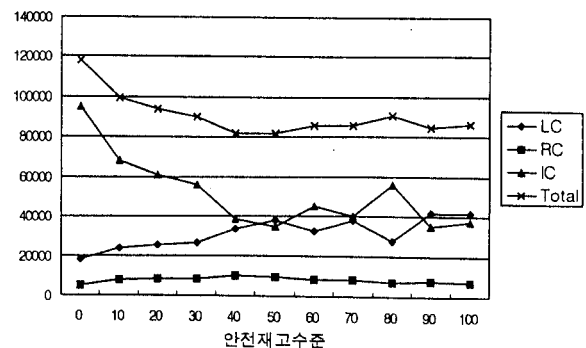


그림 2. Poisson 분포와 초기보유 25,000TEU인 경우.

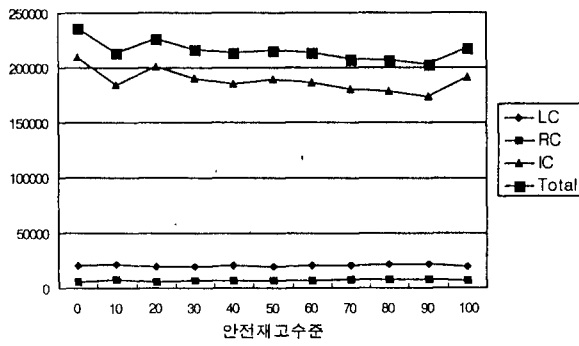


그림 3. Poisson 분포와 초기보유 40,000TEU인 경우.

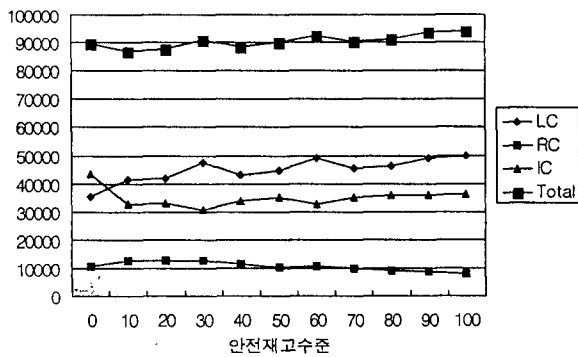


그림 4. Gamma 분포와 초기보유 25,000TEU인 경우.

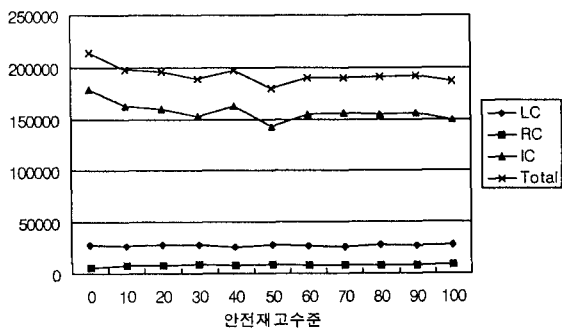


그림 5. Gamma 분포와 초기보유 40,000TEU인 경우.

화하는 부족 터미널의 안전재고수준은 단위기간 평균 수요의 40%, 10%로 설정되며, Poisson 분포일 때는 재고 유지비용이, Gamma 분포일 경우는 리스비용이 큰 비중을 점유하고 있다.

- (2) 초기보유대수가 많을 경우(40,000TEU)는 수요가 Poisson 분포와 Gamma 분포를 따를 경우에 부족 터미널의 안전재고수준은 단위기간 평균 수요의 90%, 50%로 전자보다 높으며, 재고유지비용이 상당히 큰 비중을 점유하고 있다.

또한 부족 터미널의 공 컨테이너 요청시 적용된 세 가지 재배치 규칙과 터미널별로 수요의 불확정성을 고려한 세 가지

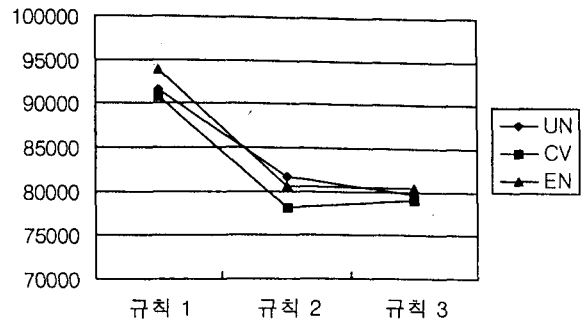


그림 6. 재배치 규칙과 수요의 불확정성에 따른 비용의 변화.

방법, 즉 터미널의 구분없이 고정(UN;  $k=0$ )하거나, 터미널 수요의 변동계수를 이용(CV;  $k=0.2$ ), 터미널 수요의 Entropy를 이용(EV;  $k=0.2$ )하여 수치실험한 결과 중에서 Poisson 수요분포와 초기보유대수 25,000TEU인 경우를 <그림 6>에 정리하였다.

실험결과를 요약하면 공 컨테이너 재분배시 할당우선순위 규칙 2와 각 터미널 별로 수요의 변동계수를 고려한 경우가 가장 우수한 결과를 보여주고 있으며, 공 컨테이너 할당우선순위 규칙 3과의 차이는 높지 않다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 컨테이너 해상수송자료를 토대로 국내 해운선사들이 공 컨테이너 운영정책의 결정에 활용 가능한 시뮬레이션 모형을 개발하고 수치실험을 통하여 재배치 및 리스 정책을 설정하는 절차를 제공하였다. 즉, 공 컨테이너의 효율적 운영을 위하여 터미널을 부족과 과잉으로 구분하고, 시뮬레이션 모형을 통하여 관련 발생비용을 최소화하는 안전재고수준과 반납재고수준을 결정하는 구체적 절차를 제시하며, 공 컨테이너를 재배치하는 규칙과 항구별로 수요의 불확정성을 고려한 방법에 따른 영향도 조사하였다.

본 논문에서 개발된 시범적인 시뮬레이션 모형은 다수 노선으로의 확장, 수요만족조건 등의 완화, 컨테이너 수요 외의 확률적인 요소 등을 추가하여 해운회사들이 공 컨테이너의 의사결정에 활용할 수 있는 실용적 연구의 기초가 될 것으로 여겨지며, 자본투자를 고려한 공 컨테이너의 적정 보유 대수(fleet size) 선정 문제, 육상수송망과의 연계된 재배치 문제 등의 시뮬레이션 모형을 구축하는 데 일조할 것이다.

#### 참고문헌

서순근, 이병호 (1998), 방사형 물류체계에서 수송장비의 보유대수 결정과 분배정책, *산업공학* 11(1), 55-66.  
 신한원, 김성국 (1995), 국제 해상 컨테이너의 운용방안에 관한 연구, *한국해양학회지*, 19(1), 33-48.

한국컨테이너 부두공단 (1999), 컨테이너 화물 유통 추이 및 분석.

Cheung, R. K. and Chen, C. (1998), A Two-Stage Stochastic Network Model and Solution Methods for the Dynamic Empty Container Allocation Problem, *Transportation Science*, 32, 142-166.

Cranic, T. G., Gendreau, M. and Dejax, P. (1993), Dynamic and Stochastic Models for the Allocation of Empty Container, *Operations Research*, 41(1), 102-126.

Florez, H. (1986), Empty-Container Repositioning and Leasing: An Optimization Model, Ph. D. Dissertation, Polytechnic-Institute of New York.

Kelton, W. D., Sadowski, R. P. and Sadowski, D. A. (1998), *Simulation with ARENA*, McGraw-Hill.

Lai, K. K., Lam, K. and Chan, W. K. (1995), Shipping Container Logistics and Allocation, *Journal of the Operational Research Society*, 46(6), 687-697.

Pal, N. R. (1997), On Quantification of Different Facets of Uncertainty, *Fuzzy Sets and Systems*, 107, 81-91.

Powell, W. B. (1986), A Stochastic Model of the Dynamic Vehicle Allocation Problem, *Transportation Science*, 20, 117-129.

Shen, W. S. and Khoong, C. M. (1995), A DSS for Empty Container Distribution Planning, *Decision Support System*, 15, 75-82.

White, W. W. (1972), Dynamic Transshipment Networks: An Algorithm and Its Application to the Distribution of Empty Containers, *Networks*, 2, 211-236.



서순근

서울대학교 공과대학 산업공학과 학사

한국과학기술원 산업공학과 석사

한국과학기술원 산업공학과 박사

현재: 동아대학교 공과대학 기계·산업시스

템공학부 산업시스템공학전공 교수

관심분야: 신뢰성공학, 품질공학, 생산체계의

확률적 모형화 및 최적화



광준호

경기대학교 산업공학과 학사

동아대학교 산업공학과 석사

현재: 동남정밀(주) 전략기획팀

관심분야: 생산 및 물류시스템