

# 공컨테이너 운영관리를 위한 모형 개발

하 원 익\* · 남 기 찬\*\*

## Models for Empty Container Repositioning and Leasing

Weon-lk Ha\* · Ki-Chan Nam\*\*

### Abstract

This study aims to apply and examine the stochastic approach for empty container repositioning and leasing problem. For this a case study has been carried out on actual data, such as various cost components and traffic flow. The results reveal that the proposed methodology produces more realistic results than the conventional deterministic approaches. It is also found that the results are significantly affected by the accuracy of demand and supply forecast.

### 1. 개 요

컨테이너화물의 증가와 이에 따른 복합운송 수요의 증대로 선사가 보유해야 하는 컨테이너 량이 급격히 증가하게 됨에 따라 선사는 컨테이너 용기 및 관련 기기의 구입에 막대한 자본을 투입하고, 이러한 장비의 사용 및 관리와 관련하여 많은 부대비용을 부담하고 있다. 이러한 비용이 컨테이너선 총운항경비의 약 20%를 상회하게 됨에 따라 효율적인 공컨테이너 운영과 관리는 선사의 경쟁력과 생산성을 높이는 중요한 요인으로 인식되어 오늘날 컨테이너선사의 주요한 경영목표의 하나로 자리잡았다.

공컨테이너 운영과 관리는 장래의 공컨테이너에 대한 수요를 충족하기 위해 공컨테이너가 남는 지역에서 부족한 지역으로 미리 재배치하여 화주의 화물수송수요를 효과적으로 충족하는 것이다. 만일 계획 시점에 예상한 수요가 실제 수요보다 적을 경우에는 화

\* 한국해양대학교 물류시스템공학과 박사과정

\*\* 한국해양대학교 물류시스템공학과 부교수

주의 화물수송수요를 충족하기 위해서 공컨테이너를 단기 임대하여 사용하게 되고 반대로 필요한 수량보다 많이 재배치되었을 경우는 불필요한 재배치 비용이 발생하게 된다.

지금까지 수행된 연구들은 트럭이나 철도 등 내륙 배송시스템 내에서의 할당이나 라우팅 문제에 관련된 것이 많은 반면, 해상운송부문에 있어서 공컨테이너 재배치 및 임대와 관련하여 수행된 연구는 많지 않다. 또한 대부분의 선행 연구들은 공컨테이너 운영 관리에서 중요한 동적특성이나 수요와 공급의 불확실성 등을 고려하지 않았고, 분석대상을 내륙 또는 해상 구간으로 제한하였기 때문에 컨테이너 선사에서 실용적으로 사용하기에는 많은 한계를 내포하고 있다.

본 논문은 공컨테이너 재배치 및 임대와 관련하여 컨테이너 선사의 독특한 공컨테이너 운영 관리 특성을 적절히 반영할 수 있는 실용적인 모형을 개발하는 것을 목적으로 동적특성과 배송시스템의 특성을 반영할 수 있는 수리모형을 개발하고, 현실적인 제약하에서 수요와 공급의 불확실성을 반영할 수 있는 방법론을 제안한다. 마지막으로 실제 운항중인 컨테이너선사의 운항실적 자료와 비용자료를 수집·적용하여 그 타당성을 검증한다.

## 2. 네트워크 최적화 모형

선사의 공컨테이너 운영관리에서 발생하는 동적특성과 배송시스템의 특성을 반영하여 담당자의 재배치 및 임대 의사결정을 지원하기 위한 최적화 모형은 다음과 같다.

$T$  : 계획 기간의 길이;  $t = 1, 2, \dots, T$

$D$  : 내륙 데포의 집합

$P$  : 항만 데포의 집합

$X_j^t$  : 기간  $t$ 에 데포  $j$ 의 공컨테이너 수요량;

$$j \in D \cup P, t = 1, 2, \dots, T$$

$Y_j^t$  : 기간  $t$ 에 데포  $j$ 의 공컨테이너 공급량;

$$j \in D \cup P, t = 1, 2, \dots, T$$

$U_j^t$  : 파손이나 손실 등으로 기간  $t$ 에 데포  $j$ 에서 사용할 수 없는 공컨테이너 수량;

$$j \in D \cup P, t = 1, 2, \dots, T$$

$V_j^t$  : 신규 구입 또는 수리 완료 후, 기간  $t$ 에 데포  $k$ 에서 사용할 수 있는 공컨테이너 수량;

$$j \in D \cup P, t = 1, 2, \dots, T$$

$Z_j^t$ : 계획 범위 시작 전에 데포 j로 보내져서 기간 t에 도착하는 공컨테이너의 수량;  
 $j \in D \cup P, t = 1, 2, \dots, T$

$c_{jk}^t$ : 기간 t에 데포 j에서 데포 k까지 운송하는 단위운송비용;  
 $j \in D \cup P, k \in D \cup P, t = 1, 2, \dots, T$

$c_j^t$ : 기간 t에 데포 j에서 컨테이너를 보관하기 위한 단위보관비용:  $j \in D \cup P,$   
 $t = 1, 2, \dots, T$

$\bar{c}_j^t$ : 기간 t에 데포 j에서 컨테이너를 임대하는 단위임대요금:  $j \in D \cup P,$   
 $t = 1, 2, \dots, T$

$\underline{c}_j^t$ : 기간 t에 데포 j에서 컨테이너를 임대하는 고정임대비용(On-hire & off-hire cost);  
 $j \in D \cup P, t = 1, 2, \dots, T$

$\bar{c}_j^t$ : 기간 t에 항구 j에서 공컨테이너 임대여부를 결정짓기 위한 단위 페널티;  
 $j \in D \cup P, t = 1, 2, \dots, T$

## 2.1 결정변수

최적화 모형의 결정변수는 공컨테이너 재배치량, 임대량, 재고량, 그리고 특정 기간의 특정 데포의 수요를 충족하지 못한 수요량이 된다. 이때 재배치량과 임대량은 시간과 공간에 대한 제약을 갖기 때문에 시간적·공간적으로 명확히 표기해야 한다. 데포간 컨테이너 이동에 소요되는 운송시간을  $\tau_{ji}$ 라고 하면, 공급데포에서 공컨테이너가 이동하는 시점이 정해지면 목적지에 도착하는 시점은 자동적으로 결정된다. 즉, 목적지의 도착기간은 공급데포에서의 출발기간에 목적지까지의 운송시간을 합하면 된다. 한편, 본 논문에서 두 데포간 운송시간에는 출발데포에서의 선적, 도착데포에서의 양하 그리고 두 데포 사이의 이동에 필요한 시간을 포함한다. 그러면, 최적화 모형에서 사용하는 결정변수들은 다음과 같이 표기할 수 있다.

$v_{ji}^t$ : 기간 t에 데포 j에서 데포 i로 재배치한 공컨테이너 수량, 공컨테이너는 기간  $t$   
 $(t + \tau_{ji})$ 에 도착한다;

$$j \in D \cup P, k \in D \cup P, t = 1, 2, \dots, T$$

$w_j^t$ : 기간 t의 끝에 데포 j에 남아있는 공컨테이너 재고량;

$$j \in D \cup P, t = 1, 2, \dots, T$$

$b_{ji}^t$  : 기간  $t$  의 데포  $i$  의 수요를 만족하기 위해 기간  $t$  에 데포  $j$  에서 단기 임대한 컨테이너 수량;  $j \in D \cup P, k \in D \cup P, t = 1, 2, \dots, T$   
 $\delta_j^t$  : 기간  $t$  에 데포  $j$  에서 만족하지 못한 공컨테이너의 수요;  $j \in D \cup P, t = 1, 2, \dots, T$

한편, 항만을 중심으로 한 해상과 내륙 배송시스템 사이의 공컨테이너 이동은 해당 항만의 선박운항일정에 종속적이기 때문에 이러한 이동을 나타내기 위해서는 해당 항만의 선박 출항 날짜를 고려하여야 한다. 따라서 다음과 같은 기호를 정의할 필요가 있다.

$O_j$  : 항만 데포  $j$  의 출항 기간 집합,  $j \in P$

내륙데포의 경우도 목적지까지 공컨테이너를 운송하는데 해상 배송시스템을 경유해야 할 경우에는 선박운항일정을 고려하여야 한다. 본 논문에서는 해상 운송구간을 경유하지 않고 공컨테이너를 운송할 수 있는 데포 집합을 나타내기 위해 항만 및 내륙 데포 집합에 대해 다음과 같은 기호들을 추가한다.

$AD_j$  : 데포  $j$  의 인접 데포 집합;  $j \in D \cup P, AD_j \subset D \cup P$

$AP_j$  : 데포  $j$  의 인접 항만 데포;  $j \in D \cup P, AP_j \in P$

즉, 이와 같은 동일한 인접데포 집합에 속하는 데포들 사이의 공컨테이너 이동은 선박운항일정과 무관하다. 그러나 인접 데포집합에 속하지 않는 데포들 사이의 공컨테이너 이동에서 출발기간은 출발데포의 인접 항만데포의 선박운항일정에 종속적이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 제약을 나타내기 위해 추가로 다음과 같은 기호를 정의한다.

$DD_j^t$  : 기간  $t'$  에 데포  $i$  의 수요를 만족하기 위해 기간  $t$  에 데포  $j$  에서 출발하여 기간

$t + \tau_{ji}$  에 공컨테이너가 도착하는 모든 데포  $i$  의 집합.

$j \in D$  인 경우

$$i \in AD_j \rightarrow t + \tau_{ji} \leq t'$$

$$i \notin AD_j \rightarrow t + \tau_{jk} + \tau_{ki} \leq t' \mid t + \tau_{jk} \in O_k$$

$j \in P$  인 경우

$$i \in AD_j \rightarrow t + \tau_{ji} \leq t'$$

$$i \notin AD_j \rightarrow t + \tau_{ji} \leq t' \mid t \in O_j$$

이면, 데포  $i$ 는  $DD'_t$ 에 속한다.  $j \in D \cup P$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ ; 단,  $k \in AP_j$ ,  
 $SD'_t$  : 시간  $t$ 의 데포  $i$ 의 수요를 만족하기 위해 컨테이너를 공급하는 모든 데포  $j$ 의 집  
 합으로 시간  $t$ 에 데포  $j$ 를 출발하여 시간  $t + \tau_{ji}$ 에 데포  $i$ 에 도착한다.

$i \in D$ 인 경우

$$j \in AD_i \rightarrow t' + \tau_{ji} \leq t$$

$$j \notin AD_i \rightarrow t' + \tau_{jk} + \tau_{ki} \leq t \mid t' + \tau_{jk} \in O_k$$

$i \in P$ 인 경우

$$j \in AD_i \rightarrow t' + \tau_{ji} \leq t$$

$$j \notin AD_i, j \in D \rightarrow t' + \tau_{jk} + \tau_{ki} \leq t \mid t' + \tau_{jk} \in O_k$$

$$j \notin AD_i, j \in P \rightarrow t' + \tau_{ji} \leq t \mid t' \in O_j$$

이면, 데포  $j$ 는  $SD'_t$ 에 속한다.  $i \in D \cup P$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ ; 단,  $k \in AP_j$ ,

데포  $j$ 의 인접 항만데포  $AP_j$ 를 구할 때 데포  $j$ 가  $j \in P$ 이면,  $AP_j$ 는  $j$  자신이 된다.

## 2.2 모형 수립

최적화 모형은 계획기간 동안 모든 데포에서 공컨테이너의 유입과 유출이 같아야 한다는 재고 균형방정식과 두 데포간 공컨테이너 이동용량, 데포의 저장용량, 그리고 임대 가능량에 대한 상한에 대한 제약과 모든 결정변수의 비음제약 하에서 공컨테이너 운영관리를 위한 총비용을 최소화하는 것으로 다음과 같다.

$$\text{Min} \quad \sum_{t=1,2,\dots,T} \sum_{j \in D \cup P} \left\{ \sum_{i \in DD'_t} (c'_{ji} v'_{ji} + (\tau_{ji} \bar{c}'_j + \underline{c}'_j) b'_{ji}) + c'_j w'_j + \bar{c}'_j \delta'_j \right\}$$

s. t.

$$\begin{aligned} w'_k &= w_k^{(t-1)} + \sum_{t' \leq t} \sum_{j \in SD'_k \mid \tau_{jk} = t-t'} v'_{jk} + \sum_{i \in DD'_k} b'_{ki} - \sum_{i \in DD'_k} v'_{ki} \\ &\quad + Z'_k - U'_k + V'_k - X'_k + Y'_k + \delta'_k \end{aligned}$$

$$0 \leq v'_{ji} \leq u w'_j$$

$$0 \leq w'_j \leq u w'_j$$

$$0 \leq \sum_{i \in D \cup P} b_{ji}^t \leq ub_j^t$$

단,  $w_{ji}^t$ : 데포  $j$ 에서 데포  $i$ 로 기간  $t$ 에 이동하기 시작하는 컨테이너의 이동량에 대한 상한;  $j \in D \cup P, i \in D \cup P, t = 1, 2, \dots, T$

$uw_j^t$ : 기간  $t$ 의 데포  $j$ 에서 저장 용량의 상한;  $j \in D \cup P, t = 1, 2, \dots, T$

$ub_j^t$ : 기간  $t$ 의 데포  $j$ 에서 임대 가능량;  $j \in D \cup P, t = 1, 2, \dots, T$

### 3. 공컨테이너 운영관리를 위한 방법론

지금까지는 장래 수요와 공급이 확정적이라는 전제하에서 최적화 모형을 수립하였다. 그러나, 계획 시점에 예측한 수요와 공급은 실제 수요와 공급과 많은 차이가 있을 수 있다. 이러한 경우 최적화 모형을 사용하여 얻은 결과가 최선의 재배치 및 임대 방안이라고 볼 수는 없다. 이상적으로는 불확실한 수요와 공급을 확률변수로 가정하고 모든 결정 변수들과의 상호작용을 충분히 설명할 수 있고, 계산량 관점에서 최적해를 용이하게 구할 수 있는 확률적모형을 수립하는 것이다. 그러나, 현실적으로 이러한 상반된 목표를 달성할 수 있는 모형을 수립하는 것은 용이하지 않다. 이 장에서는 장래 불확실한 수요와 공급의 영향을 적절히 반영하면서 계산이 용이한 실용적인 방법론을 제시한다.

먼저, 계획기간 시작 시기의 모든 비용과 관련된 정보를 이용할 수 있고, 수요와 공급과 같은 확률변수가 구체화될 때의 의사결정변수들 사이에 발생하게 되는 복잡한 상호작용은 고려하지 않는다고 가정한다. 그러면, 계획기간 동안 장래 수요와 공급의 변화로 인한 의사결정변수들 사이의 상호작용은 장래 수요를 충족하기 위해 데포에서 유지해야 하는 재고수준에 의해서 설명될 수 있다. 즉, 본 논문에서 장래 공컨테이너의 수요와 공급의 불확실성에 대한 영향을 고려하는 방법은 먼저, 장래 수요와 공급을 확률변수로 가정하고 확률변수들의 값에 대한 변화 시나리오를 작성한다. 다음으로 각각의 시나리오에 대해 최적화 모형을 적용하여 재배치량, 임대량 그리고 재고량과 같은 의사결정변수들의 해를 구해서, 시나리오별 공컨테이너 재배치 및 임대비용과 재고수준의 차이로 인한 기회비용을 비교하여 공컨테이너 운영관리에 소요되는 총비용을 최소로 하는 시나리오를 찾아서 최적의 재배치 및 임대방안을 도출하는 것이다.

어느 한 기간에 발생하는 재배치 및 임대 비용을  $OC'$ 라고 하고, 계획기간 동안의 모

은 데포의 재고수준의 증감에 따른 기회비용을  $IC'_k(w'_k, \bar{w}'_k)$ 로 정의하면, 공컨테이너 운영관리에 소요되는 총비용은 다음 식과 같다.

$$TOC = \sum_{t=1, \dots, T} OC^t + \sum_{t=1, \dots, T} \sum_{k \in P \cup D} IC'_k(w'_k, \bar{w}'_k)$$

한편, 기간 1에서 기간 n까지의 수요와 공급을 확정적이라고 간주하고, 기간 n+1에서 기간 T까지의 수요와 공급을 확률적으로 간주할 경우 시나리오 s에 의한 공컨테이너 운영관리에 소요되는 총비용( $TOC_s$ )은 다음과 같다.

$$TOC_s = \sum_{t=1, \dots, n} OC^t + \sum_{t=n+1, \dots, T} OC_s^t + \sum_{t=n+1, \dots, T} \sum_{k \in P \cup D} IC'_k(w'_k, \bar{w}'_k)$$

for all  $s \in S$

이때, 시나리오 s에서 수요와 공급이 불확실한 기간 동안 발생하는 비용인 두 번째 항과 세 번째 항의 합을  $RC_s(w'_k, \bar{w}'_k)$ 라고 정의하고, 모든 시나리오에 대해  $RC_s(w'_k, \bar{w}'_k)$ 를 구해서 최소가 되는 것을  $RC(w'_k, \bar{w}'_k)$ 라고 정의하면, 수요와 공급의 불확실성을 고려하는 공컨테이너 운영관리문제의 목적함수는 다음과 같다.

$$\sum_{t=1, \dots, n} OC^t + RC(w'_k, \bar{w}'_k)$$

$$\text{단, } RC(w'_k, \bar{w}'_k) = \text{Minimum}[RC_s(w'_k, \bar{w}'_k) | \forall S]$$

이상에서 살펴본 공컨테이너 재배치 및 임대 계획에 있어서 장래 수요와 공급의 불확실성으로 인해 발생하는 여러 가지 기회비용들 사이의 트레이드오프(trade off)는 다음 두 가지 측면에서 살펴볼 수 있다. 첫째, 충분한 안전재고를 유지하지 않았을 경우 화주의 화물 수송 수요를 충족하기 위해 발생하는 단기 임대비용과 재고유지비용 사이의 트레이드오프가 발생한다. 재고수준의 변화에 따른 이러한 기회비용이 정당화되기 위해서는 충분한 재고를 유지하지 않아서 발생하는 손실비용이 재고유지비용보다 커야 한다. 둘째, 실제 필요한 수요보다 많은 재고를 갖고 있을 경우 불필요한 재배치 비용이나 재고유지비용이 발생하게 된다. 이러한 경우의 기회비용은 다른 데포에서 수요를 충족하기 위해 단기 임대한 비용이나 각 데포별 재고유지비용의 차이로 설명될 수 있다. 따라서 데포별 공컨테이너가 남는 경우와 부족한 경우의 기회비용을 현실적으로 결정할 수 있다면 현실적인 제약하에서 수요와 공급의 불확실성을 적절히 반영할 수 있을 것이다.

## 4. 사례 적용

### 4.1 자료 수집

모델 선사는 총 31척의 컨테이너 전용 선박을 이용하여 극동지역에 있는 약 30개 이상의 항만에 기항하면서 정기 운송서비스를 제공하고 있다. 이 선사의 총선복량은 약 30만 DWT(2만 TEU) 정도이고, 본 연구의 대상이 되는 한국-태국 항로에는 3척의 선박(1,500 TEU에서 2,000 TEU급)을 투입하여 7개의 항구에 7일 간격으로 기항하면서 연간 약 27만 TEU를 운송하고 있다. 기항순서는 서진(westbound)의 경우 울산출항하여 부산, 킴, 카오슝, 홍콩, 람차방, 방콕 순으로 기항하고, 동진(eastbound)의 경우 람차방, 카오슝, 킴을 거쳐 울산으로 돌아온다. 사례연구의 계획범위는 A선박이 울산출항하는 2월 19일부터 4월 1일까지이고 이 기간의 각 항에서 선박의 출항기간은 [표 1]과 같다.

Table 1. Vessel Schedule

구분 선박	항만	서진(westbound)					동진(eastbound)				
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P5	P4	P3
A		1	3	5	6	7	12	13	18	19	20
		22	24	26	27	28	33	34	39	40	41
B		-	-	-	-	-	-	-	4	5	6
		8	10	12	13	14	19	20	25	26	27
C		29	31	33	34	35	40	41	-	-	-
		-	-	-	-	-	5	6	11	12	13
		15	17	19	20	21	26	27	32	33	34
		36	38	40	41	-	-	-	-	-	-

주) 2월 19일부터 순차적으로 나타낸 것임.

한편, 사례연구에서 부산과 울산, 방콕과 람차방, 그리고 킴과 카오슝 사이의 공컨테이너 이동은 내륙운송을 이용하는 것으로 가정하였다. 해상으로 운송할 경우 운송시간이 많이 걸리고 운송시간을 단축하려면 중간 항만에서 환적하여야 하는데 이 경우 항만에서 발생하는 하역비용이 내륙 운송비용보

다 비싸기 때문에 실제 모델선사의 경우 이러한 루트에서의 이동은 내륙운송을 하고 있다. 그리고, 해상 구간에서의 공컨테이너 운송은 미리 계획된 항차의 자사 선박의 여유 공간을 사용하기 때문에 해상 구간에서의 운송비용은 고려하지 않고, 최초 출발 데포에서 최종 도착 데포까지 공컨테이너를 운송하기 위해 항만을 경유할 경우 항만에서 이적이나 환적을 위한 하역비용은 운송비용에 포함한다.

저장비용은 국내와 홍콩에서는 TEU당 약 \$8.3, 람차방과 방콕에서는 TEU당 \$9.1, 킴과 카오슝에서는 TEU당 \$9.3을 적용한다. 그리고 임대비용은 임대할 때와 반환할 때 발생하는 고정비용과 임대기간에 따라 발생하는 비용으로 구분한다. 임대시 발생하는 고정비용은 홍콩의 경우 TEU당 \$80, 킴과 카오슝은 TEU당 \$72, 람차방과 방콕은 \$60, 국



내에서는 TEU당 \$26을 적용하고, 임대기간에 따라 발생하는 비용은 임대 시점에서 수요 테포까지 이동하는 기간에 대해 하루에 \$1.5이 발생하는 것으로 간주한다. 실제 화물을 운송하는 기간은 특정 수요에 임대 컨테이너를 사용하면 자사 컨테이너는 다른 수요를 충족하는데 사용할 수 있기 때문에 화물 운송 기간은 임대비용 계산시 제외한다.

Table 2. Transportation time

수요 \ 공급	P1	P2	D1	P3	D2	P4	P5	P6	P8
P1	0	1	1	17(2)	18(3)	16(3)	14(4)	10	9
P2	1	0	1	18(3)	19(4)	17(4)	15(5)	11	10
D1	1	1	0	19(4)	20(5)	18(5)	16(6)	12	11
P3	3	2	2	0	1	1	12(2)	8	7
D2	4	2	3	1	0	1	13(3)	9	8
P4	5	3	4	1	1	0	11(1)	7	6
P5	6	4	5	2(8)	3(9)	1(9)	0	5	4
P6	10	8	9	6(12)	7(13)	5(13)	4(14)	0	1
P7	12	10	11	8(14)	9(15)	7(15)	6(16)	1	0

\* P3-항면, D2-대륙테포, 변호는 기항순서에 따른 작업 구분  
 \* () 안은 동진 선박에 적재된 경우의 운송 시간

Table. 3 Transportation cost

수요 \ 공급	P1	P2	D1	P3	D2	P4	P5	P6	P8
P1	0	120	120	95	110	95	115	70	70
P2	70	0	10	95	110	95	115	70	70
D1	80	10	0	105	120	105	125	80	80
P3	95	95	105	0	15	120	140	95	95
D2	110	110	120	15	0	135	155	110	110
P4	95	95	105	120	135	0	140	95	95
P5	115	115	125	140	155	140	0	115	115
P6	70	70	80	95	110	95	115	0	120
P7	70	70	80	95	110	95	115	70	0

### 4.2 수요와 공급

사례연구를 위해 모델선사로부터 1999년 2월 1일부터 1999년 4월 1일까지 2개월 동안의 공컨테이너 물동량에 대한 자료를 제공받았다. 이러한 짧은 기간 동안의 자료를 이용해서 신뢰성있는 예측을 한다는 것은 불가능하고 또한, 사례연구의 목적이 장래 수요의 정확한 예측보다는 장래 수요의 변화를 고려하여 최적의 공컨테이너 재배치 및 임대 방안을 도출하는 모형의 타당성 검토에 있기 때문에 단순히 시계열 분석을 변형하여 얻은

예측 결과를 사용한다. 사례연구에서는 2월 한 달 동안의 공컨테이너 수요에 대한 자료를 이용하여 시계열 분석을 한다. 이때 실제 수요와 어느 정도 유사한 예측 결과를 얻기 위해 시계열 분석에 의해 바로 다음 날의 수요를 예측하고 그 다음날의 수요를 예측할 때는 예측 결과를 사용하지 않고 실제 수요를 사용한다. 공급 예측은 모델선사에서 제공한 데포별 평균 회수량을 기준으로 공컨테이너 공급을 예측하였다. 사례 연구에서 공컨테이너 공급은 정규분포를 따른다고 가정하고 난수를 발생시켜 예측하였다.

장래 불확실한 수요와 공급의 변화에 대한 시나리오는 단순히 예측 결과의 표준편차를 기준으로 일정한 비율로 증감한다. 수요와 공급에 대한 예측 결과의 평균과 표준편차는 [표 4]와 같으며, [표 5]에 제시한 기준으로 시나리오를 작성한다.

Table.4 Average and standard deviation of the demand and supply forecasts

구 분		P1	P2	D1	P3	D2	P4	P5	P6	P7
수 요	평 균	69.5	58.3	38.9	42.7	28.5	42.9	51.8	75.7	62.5
	표준편차	60.4	67.3	45.3	39.0	26.0	35.1	31.4	63.4	50.6
공 급	평 균	51.8	50.4	33.6	39.6	26.4	39.5	35.2	27.3	32.6
	표준편차	11.8	13.2	8.7	3.9	2.6	4.4	7.4	6.3	8.4

Table. 5 Scenario formulations

구 분	수 요	공 급
시나리오 0	수요 및 공급 예측 결과	
시나리오 1	30% 감소	100% 감소
시나리오 2	30% 증가	100% 증가
시나리오 3	15% 감소	50% 감소
시나리오 4	15% 증가	50% 증가

한편, 방법론을 적용하기 위해서는 먼저 계획 기간 전의 공컨테이너 수급 계획에 의해 계획 기간 동안 데포로 공급되는 공컨테이너 유입과 계획 기간 시작 시점의 모든 데포의 초기 재고를 알고 있어야 한다. 이러한 공컨테이너 유입과 데포 초기 재고는 다음 [표 6]과 같다.

Table. 6 Initial inventory and external inflow

구 분	데포		P1	P2	D1	P3	D2	P4	P5	P6	P7
	기간										
초기재고	1		469	712	454	465	310	149	286	441	270
외 부 유입량	1		0	8	6	0	0	0	0	0	0
	2		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3		0	0	0	0	0	0	0	130	0
	4		0	0	0	0	0	0	0	0	25

### 4.3 분석 결과 및 평가

제안한 방법론을 적용하여 각 계획기간에 시나리오 별로 발생하는 재배치 및 임대비용과 상대기회비용은 [표 7]과 같다.

수요와 공급을 확정적으로 가정하는 기존의 방법론과 본 연구에서 제안한 방법론에 의한 분석 결과를 실제 수요와 공급 자료를 근거로한 분석 결과와 비교하면, 사례 연구에서 시나리오 0에 의한 수요와 공급 자료는 기존의 확정적 모형에서 사용하는 수요와 공급의 예측 자료라고 볼 수 있기 때문에 기존의 확정적 방법론은 모든 계획 기간에 걸쳐서 시나리오 0의 수요와 공급 자료를 사용한 경우의 재배치 및 임대 방안이 된다. 따라서 실제 수요와 공급 자료를 이용하여 최적화 모형을 적용하여 얻은 각 대포변 재고를 기준으로, 본 연구에서 제안한 방법론과 기존의 확정적 방법론에 의한 재고의 차를 계산하여 재고의 증감에 대한 실제 기회비용을 산정한다. 이와 같이 계산한 기회비용과 두 가지 방법의 재배치 및 임대 비용의 합을 비교하여 제안한 방법론의 타당성을 평가한다.

Table. 7 Operating and opportunity costs

계획기간	시나리오	재배치 및 임대비용	상대 기회비용	총비용	비고
1 (2-19-3-11)	0	309585	0	309585	선택
	1	323566	-11883	311683	
	2	288149	30502	318651	
	3	318816	-8467	310349	
	4	290724	12058	312682	
2 (2-26-3-18)	0	321180	0	321180	선택
	1	320080	13207	306873	
	2	299237	37585	336822	
	3	318816	-8539	310257	
	4	313088	16628	329716	
3 (3-05-3-25)	0	307485	0	307485	선택
	1	312682	-13347	299335	
	2	275302	44139	319531	
	3	313433	11723	301700	
	4	291557	20422	311980	
4 (3-12-4-01)	0	312801	0	312801	선택
	1	314240	-23627	290613	
	2	273854	44647	318501	
	3	313893	-19233	294660	
	4	296282	15918	312200	

Table. 8 Comparisons of the stochastic and deterministic approaches

구분		계획 기간 1	계획 기간 2	계획 기간 3	계획 기간 4	합계
운송비용	A	5,310	11,775	4,255	6,590	27,930
	B	5,310	14,685	9,685	17,255	46,935
	C	4,590	20,870	13,235	17,025	55,720
임대비용	A	0	17,040	34,294	31,452	82,786
	B	0	18,328	32,502	37,746	88,576
	C	600	19,316	43,908	38,620	102,444
저장비용	A	119,589	81,263	67,259	68,911	337,022
	B	119,589	78,926	58,079	57,018	313,612
	C	119,476	62,965	44,242	44,685	271,368
소계	A	124,899	110,078	105,808	106,953	447,738
	B	124,899	111,939	100,266	112,019	449,123
	C	124,666	103,151	101,385	100,330	429,532
기회비용	A	1,453	22,332	30,142	30,201	84,128
	B	1,453	18,282	20,106	15,501	55,342
합계	A	126,352	132,410	135,950	137,154	531,866
	B	126,352	130,221	120,372	127,520	504,465
	C	124,666	103,151	101,385	100,330	429,532

주) A는 확정적 방법 의한 분석  
 B는 제안 방법에 의해 분석  
 C는 실제 수요와 공급자료를 이용한 분석

사례연구의 계획범위인 42일 중에서 실제 재배치와 임대를 실행하는 28일 동안 발생하는 공컨테이너 재배치 및 임대비용과 기회비용은 [표 8]과 같다. 확정적 방법론을 사용하였을 경우는 재배치와 임대 비용이 \$447,738이 발생하고 제안 방법론을 사용하였을 경우는 \$449,123이 발생하여 전체 계획기간동안 평균 수요와 공급 자료를 사용하는 확정적 방법보다 \$1,385이 더 발생한다. 그러나 재고의 과잉이나 부족으로 발생하는 기회비용은 \$55,342이 발생하여 확정적 방법의 \$84,128보다 \$28,786이 작게 발생한다. 즉, 재배치 및 임대 비용과 기회비용을 합한 총비용은 확정적 방법의 경우 \$531,866이 발생하고 제안 방법론의 경우 \$504,465이 발생하여 총비용 관점에서는 \$27,401의 비용을 절감할 수 있었다.

한편, 실제 수요와 공급 자료를 사용하여 최적화 모형을 적용하였을 경우 발생하는 재배치 및 임대 비용은 \$429,532로, 제안 방법론과 비교할 경우 \$74,933의 비용 차이가 있다. 즉, 이러한 비용이 수요와 공급의 정확한 예측을 통하여 추가로 절감할 수 있는 비용이 된다. [표 9]와 [표 10]은 동일한 기간의 재배치 및 임대 방안을 사례 별로 비교하여 나타내고 있다. <그림 1>은 계획기간 동안의 재고 변화 추이를 비교한 것이다.

## 5. 결 론

장래 수요와 공급이 불확실한 상황에서 단순히 확정적 모형을 적용하여 얻은 최적해는 수요와 공급이 구체화되었을 때 실제 발생하는 비용과 큰 차이가 있다는 것을 알 수 있었다. 한편 국내 K 선사의 한국 태국 항로의 최근 운항 자료와 관련 비용 자료를 수집하여 확정적 방법론과 제안한 방법론을 비교한 결과 28일 동안 제안 방법론을 사용할 경우 총비용 관점에서 \$27,401의 비용 절감을 거둘 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 비용절감 추정치는 재고수준 변화에 대한 기회비용의 차이로 설명되는데 공컨테이너가 남는 경우와 부족한 경우의 기회비용을 정확하게 산출하는 것이 중요한 과제인 것을 알 수 있다.

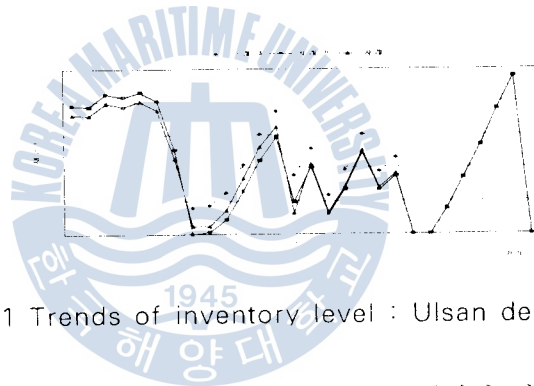


Fig. 1 Trends of inventory level : Ulsan depot

본 연구는 단기 운영적 측면에서 컨테이너선사의 공컨테이너 재배치 및 임대 계획을 지원하기 위한 실용적인 방법론을 제시했다. 또한 장기적인 측면에서 선사의 컨테이너 운영 관리를 개선할 수 있는 많은 통찰력을 제공한 것으로 사료된다. 예를 들면, 재배치 및 임대가 효율적으로 이루어진다면 선사가 보유하는 전체 공컨테이너 보유량을 줄일 수 있으며, 이로 인해 많은 자본비와 운영비의 절감을 기대할 수 있다.

한편, 본 연구에서 제시한 방법론을 실제 운영 업무에 사용할 때는 공컨테이너의 수요와 공급에 대한 신뢰성 있는 예측이 무엇보다 중요하다. 공컨테이너의 수요와 공급의 복잡한 메카니즘은 단순한 예측 기법으로 설명하기 어렵기 때문에 선사의 경영정보시스템을 활용하여 다양한 방법으로 예측하여 이를 통합할 필요가 있다. 예를 들면, 과거 실적 자료를 바탕으로 한 예측결과와 영업부서나 장비관리부서의 수요나 공급에 대한 예상 결과를 지속적으로 비교·분석하여 이를 적절히 반영한다면 보다 우수한 예측결과를 얻을 수 있다.

Table. 9 Repositioning strategies

기간	공급 데포	수요 데포	재배치량		
			A	B	C
1	울산	람차방	24	24	33
	울산	방콕	19	19	24
	방콕	람차방	16	16	6
4	방콕	람차방	7	7	
8	울산	부산	3		35
	울산	부산a	34	21	85
11	키룽a	방콕			15
12	키룽	람차방	40	14	37
	키룽	방콕	45	41	28
	카오슌	울산			3
13	카오슌	방콕			8
15	카오슌	키룽			9
17	키룽a	키룽			6
	카오슌	키룽a	5		
18	홍콩	울산			65
19	키룽	람차방			3
	키룽	방콕	34	23	
20	카오슌	람차방	10	3	
	카오슌	방콕			15
21	홍콩	람차방			12
23	키룽a	키룽	24	16	
	카오슌	키룽	17		
	울산	람차방			1
24	카오슌	키룽			41
	카오슌	키룽a			27
25	카오슌	키룽	9		9
	카오슌	키룽a			6
27	키룽	방콕	5	5	
	카오슌	울산	2	6	
	카오슌	부산	7	8	
	카오슌	부산a	9		4
	키룽	람차방			5

Table. 10 Leasing strategies

임대 데포	사례	계획 기간 1						
		1	2	3	4	5	6	7
람차방	A							
	B		1					
	C		10					
임대 데포	사례	계획 기간 2						
		8	9	10	11	12	13	14
부산	A			28	10	13	53	4
	B		3	28	10	13	53	4
	C		46		1	15	56	
부산a	A			18	7	8	35	4
	B		12	18	7	8	35	4
	C				1	10	37	
임대 데포	사례	계획 기간 3						
		15	16	17	18	19	20	21
울산	A							43
	B							72
	C							68
부산	A	123	12					
	B	123	12					
	C	123	12					
부산a	A	82	9					
	B	82	9					
	C	82	9					
키룽	A							
	B							
	C	6		129				
람차방	A	163			21	61	30	
	B	163			47	61	30	44
	C	163			24	61	30	44
방콕	A		30			106		
	B		20			106		
	C		12			106		
임대 데포	사례	계획 기간 4						
		22	23	24	25	26	27	28
울산	A	70						18
	B	70						18
	C	68						18
키룽	A	25						
	B							
	C	4						
키룽a	A							
	B							
	C	3						
람차방	A		41	26		67		105
	B		48	26		78		105
	C		42	26		81		105
방콕	A	175			157	12		
	B	175			157	12		
	C	175			157	12		

## 참 고 문 헌

- 1) 菅田幹也(1978), "Container 적정보유수에 관한 고찰", 해양한국, 8·9월호, Vol. 47·48.
- 2) 박진수(1990), 해상운송 컨테이너의 재고관리에 관한 연구, 동아대학교 석사학위논문.
- 3) K. K. Lai, Kokin Lam and W. K. Chan(1995), "Shipping Container Logistics and Allocation", Journal of Operational Research Society, Vol. 46, pp. 678-697.
- 4) Florez Humberto(1986), "Empty Container Repositioning and Leasing : An Optimization Model", Ph. D. dissertation Polytechnic Institute of New York.
- 5) Cuimet, G.(1972), Empty Freight Car Distribution. M.Sc. thesis. Queens University, Canada.
- 6) Jordan, W.(1982), "The Impact of Uncertain Demand and Supply on Empty Rail Car Distribution", Ph. D. dissertation. Cornell University. Ithaca, NY.
- 7) French, P.(1983), "Overview and Survey of Network Optimization Models That Can Be Used To Assist Railroad Empty Car Distribution", Association of American Railroads. Washington, DC.
- 8) Gao, Q.(1993), "An Operational Approach for Container Control in Liner Shipping", Logistics and Transportation Review, Vol. 30, No. 3, pp.267-282.
- 9) T. G. Crainic, M. Gendreau and P. Dejax(1993), "Dynamic and Stochastic Models for the Allocation of Empty Containers", Operations Research, Vol. 41, No.1.

