

論 文

# 확률적 접근법에 의한 공컨테이너 재배치 및 임대에 관한 연구

하 원 익\* · 남 기 찬\*\*

## A Study on Empty Container Repositioning and Leasing

W. I. Ha · K. C. Nam

**Key Words** :공컨테이너(Empty Container), 재배치(Repositioning), 임대(Leasing), 데포(Depot), 확률적 접근법(Stochastic Approach), 분단탐색법(Branch and Bound Method)

### 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 컨테이너

선 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

\* 한국해양대학교 대학원 물류시스템공학과

\*\* 정회원, 한국해양대학교 공과대학 물류시스템공학과 교수

화주의 화물수송수요를 효과적으로 충족하는 것이다. 만일 계획 시점에 예상한 수요가 실제 수요보다 적을 경우에는 화주의 화물수송수요를 충족하기 위해서 공컨테이너를 단기 임대하여 사용하게 되고 반대로 필요한 수량보다 많이 재배치되었을 경우는 불필요한 재배치 비용이 발생하게 된다.

지금까지 수행된 공컨테이너 재배치 및 임대 문제와 관련된 대부분의 연구들은 장래 수요와 공급을 확정적으로 가정하고 최적화 모형을 수립하여 적용하였다(Florez, 1986). 본 논문은 컨테이너선사가 필연적으로 직면하게 되는 이러한 재배치 및 임대 계획과 관련하여 수요와 공급의 불확실성을 반영하기 위한 방법론을 제안하고, 실제 운항중인 컨테이너선사의 운항실적 자료와 비용자료를 수집·적용하여 그 타당성을 검증한다.

## 2. 공컨테이너 운영 관리 현황

선사의 공컨테이너 관리 업무를 살펴보면, 담당자는 모든 지역의 영업부서로부터 화물 선적 예상량(Booking Prospect)을 접수하고, 이를 바탕으로 장래 특정 시점의 화물수송수요를 충족하기 위해 보유하고 있어야 하는 데포별 컨테이너 보유수량을 산정한다. 각 데포별 재고현황을 파악하고, 예상되는 공컨테이너의 유출과 유입을 고려하여 데포별 공컨테이너 재고를 예상한다. 이와 같이 담당자는 데포별 보유수량, 예상 재고, 그리고 이송시간을 고려하여 공컨테이너 수급계획을 수립한다. 담당자는 수급계획을 수립한 뒤 선박스케줄과 여유선복을 확인하여 재배치 계획을 수립한다. 만일 자사 소유의 공컨테이너를 사용하여 수요를 충족할 수 없을 경우에는 단기임대계획을 수립하게 된다. 이때 담당자는 임대회사가 공급할 수 있는 수량, 계약 기간, 계약 조건 등을 고려하여 필요한 수량을 단기 임대하여 재배치한다. 한편, 각 지점에서 공컨테이너 재배치 및 임대를 요청할 경우 담당자는 이를 반영하여 재배치 및 임대 계획을 수립한다. 공

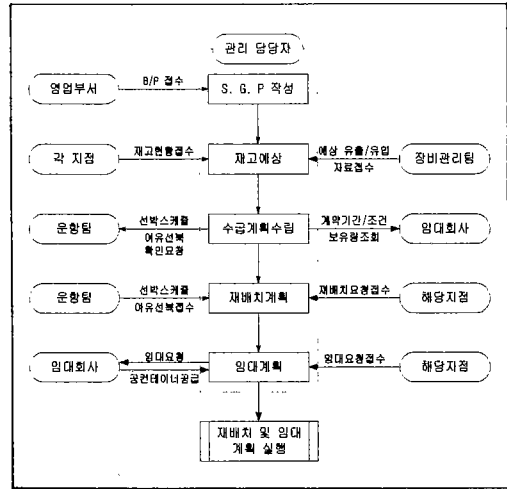


Fig. 1 Management flow of Empty container

컨테이너 수급계획이 수립되어 실제 배치되기까지는 상당한 시간이 소요되기 때문에 통상 2-4주 전에는 수급계획이 수립되고 늦어도 1주 전에 모든 재배치 및 임대계획이 수립되어 시행되게 된다. Fig. 1은 담당자와 관련기관 사이의 공컨테이너 운영 업무의 흐름을 나타낸다.

선사가 컨테이너를 확보하는 방법은 직접 구입하여 운영하는 방법과 임대회사로부터 임대하여 사용하는 방법이 있다. 컨테이너를 임대하는 형태는 계약에 따라 여러 가지가 있으나 임대기간을 기준으로 보면 장기임대와 단기임대로 나누어진다. 이때 컨테이너 운영과 관련하여 장기 임대 컨테이너는 관리 및 운영 특성상 자사 컨테이너로 취급될 수 있으며, 실질적으로 임대 컨테이너로서 관리 운영되는 것은 단기 임대 컨테이너이다.

지금까지 살펴 본 공컨테이너 운영업무의 현황에 대해 요약하면 첫째, 지역 또는 항만에서의 공컨테이너에 대한 수요와 공급의 차이로 공컨테이너 수급 불균형 현상이 발생한다. 이러한 현상은 지역간 교역 불균형이나 선사의 영업전략에 의해 필연적으로 발생하게 되는 문제로 담당자는 공컨테이너가 부족한 지역에서의 화물수송수요를 충족하기 위해 남는 지역에서 운반해오거나 임대하는 계획

을 수립해야 한다. 둘째, 동일한 지역 내에서도 공컨테이너의 수요와 공급이 시간의 경과와 함께 끊임없이 변화한다. 따라서 담당자는 이러한 변화하는 수요와 공급에 적절히 대응하기 위해 저장데포에서 유지하는 재고의 적절한 수준을 결정해야 한다. 셋째, 공컨테이너의 이동에는 상당한 시간이 소요되기 때문에 재배치 계획이 수립되는 시점과 공컨테이너가 실제 운반되어 필요한 지역에 도착하는 시점에는 상당한 차이가 있다. 이로 인해 재배치 계획시 예상한 수요와 공급과 실제 수요와 공급에는 많은 차이가 발생할 수 있다. 따라서 장래의 수요와 공급에 대한 정확한 예측이 필수적이다. 즉, 공컨테이너 운영관리에서 발생하는 의사결정요소인 장래 수요와 공급 결정, 둘째, 데포의 적정 재고 수준 결정, 셋째, 공컨테이너 재배치 및 임대 계획 수립으로 요약할 수 있다.

### 3. 방법론

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 불확실한 수요와 공급의 변화로 인한 의사결정변수들 사이의 상호작용은 장래 수요를 충족하기 위해 데포에서 유지해야 하는 재고 수준에 의해서 설명될 수 있다.

본 논문에서 장래 공컨테이너의 수요와 공급의 불확실성에 대한 영향을 고려하는 방법은 장래 수요와 공급을 확률변수로 가정하고, 확률변수 값의 변화에 대한 시나리오를 작성하고, 모든 시나리오에 대해 확정적 모형을 적용하여 재배치량, 임대량 그리고 재고량과 같은 의사결정변수들의 해를 구하고, 공컨테이너 재배치 및 임대비용과 재고수준의 증감에 따른 기회비용 사이의 트레이드오프를 고려하여 공컨테이너 운영관리에 소요되는 총비용

을 최소로 하는 재배치 및 임대방안을 도출한다.

#### 3.1 확정적 모형

본 연구의 방법론 적용에 사용되는 확정적 모형에 대해 간단히 설명하면 다음과 같다(하원익, 남기찬, 1999).

$T$  : 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;

$j \in DUP, t = 1, 2, \dots, T$

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

$j \in DUP, t = 1, 2, \dots, T$

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

$j \in DUP, t = 1, 2, \dots, T$

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

$j \in DUP, t = 1, 2, \dots, T$

$Z_j^t$  : 계획 범위 시작 전에 데포  $j$ 로 보내져서 기간  $t$ 에 도착하는 공컨테이너의 수량;

$j \in DUP, t = 1, 2, \dots, T$

$c_{jk}^t$  : 기간  $t$ 에 데포  $j$ 에서 데포  $k$ 까지 운송하는 단위운송비용;

$j \in DUP, k \in DUP, t = 1, 2, \dots, T$

$c_j^t$  : 기간  $t$ 에 데포  $j$ 에서 컨테이너를 보관하기 위한 단위보관비용;  $j \in DUP, t = 1, 2, \dots, T$

$\bar{c}_j^t$  : 기간  $t$ 에 데포  $j$ 에서 컨테이너를 임대하는 단위임대요금;  $j \in DUP, t = 1, 2, \dots, T$

$\underline{c}_j^t$  : 기간  $t$ 에 데포  $j$ 에서 컨테이너를 임대하는 고정임대비용(On-hire & off-hire cost);

$j \in DUP, t = 1, 2, \dots, T$

$\tilde{c}_{ji}^t$  : 기간  $t$ 에 항구  $j$ 에서 공컨테이너의 임대여부를 결정짓기 위한 단위 페널티;  
 $j \in D \cup P, t = 1, 2, \dots, T$

두 데포간 이동에 소요되는 운송시간을  $\tau_{ji}$ 라고 하면, 확정적 모형의 결정변수들은 다음과 같다.

$v_{ji}^t$  : 기간  $t$ 에 데포  $j$ 에서 데포  $i$ 로 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  $t$ 의 끝에 데포  $j$ 에 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;  $j \in D \cup P, t = 1, 2, \dots, T$

인접한 내륙데포들 사이의 공컨테이너 이동은 내륙운송을 하기 때문에 선박 운항일정과는 무관하지만 해상운송을 할 경우는 선박운항일정에 종속된다. 따라서 다음과 같은 기호를 추가할 필요가 있다.

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

$AD_j$  : 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, 동일한 인접데포 집합에 속하는 데포들 사이의 이동은 선박운항일정과는 무관하다. 그러나 인접 데포집합에 속하지 않는 데포들 사이의 공컨테

이너 이동은 출발기간이 출발데포의 인접 항만데포의 선박운항일정에 종속적이다. 따라서 이러한 제약을 나타내기 위해 추가로 다음과 같은 기호를 정의한다.

$DD_j^t$  : 기간  $t$ '의 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  $DD_j^t$ 에 속한다.

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

$SD_j^t$  : 기간  $t$ 의 데포  $i$ 의 수요를 만족하기 위해 컨테이너를 공급하는 모든 데포  $j$ 의 집합으로 기간  $t$ 에 데포  $j$ 를 출발하여 기간  $t + \tau_{ji}$ 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  $SD_j^t$ 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. 그러면, 최적화 모형은 재고균형 방정식과 결정변수의 비음

제약하에서 재배치 및 임대비용을 최소화하는 것으로 다음과 같다.

Min

$$\sum_{t=1,2,\dots,T} \sum_{j \in D \cup P} \left\{ \sum_{i \in DD_i} (c_{ji}^t v_{ji}^t + (\tau_{ji} \bar{c}_j^t + \underline{c}_j^t) b_{ji}^t) + c_j^t w_j^t + \bar{c}_j^t \delta_j^t \right\}$$

$$s.t. \quad w_k^t = w_k^{(t-1)} + \sum_{t \leq t} \sum_{j \in SD_i^t | \tau_{jk} = t-t'} v_{jk}^t + \sum_{i \in DD_k} b_{ki}^t - \sum_{i \in DD_k} v_{ki}^t + Z_k^t - U_k^t + V_k^t - X_k^t + Y_k^t + \delta_k^t$$

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

### 3.2 불확실성 고려 방안

장래 수요와 공급의 불확실성으로 인한 재고수준의 증감에 대한 기회비용을 산정하기 위해서는 수요와 공급과 같은 확률변수가 구체화되었을 때의 재고수준(재배치 계획에 의해 공컨테이너가 필요한 지역에 도착하는 시점의 실제 수요와 공급)을 알 수 있어야 하는데 이를  $\bar{w}_k^t$ 라고 정의한다. 그러나 계획 시작시점에 이러한 재고수준을 모르기 때문에 계획 시점에 알 수 있는 재고수준을 기준으로 모든 시나리오에 대한 상대적인 기회비용을 계산한다. 본 연구에서 공컨테이너 재배치 및 임대 비용과 재고수준의 증감에 따른 기회비용 사이에 발생하는 트레이트오프에 대한 영향을 모델링하기 위해 사용하는 기준이 되는 재고수준은 평균수요와 공급(계획시점의 수요와 공급 예측 결과)을 사용하였을 경우 최적화 모형에 의해 결정되는 재고수준으로  $w_k^t$ 라고 정의한다. 한편 확률변수의 변화 시나리오(평균수요와 공급을 예측오차를 기준으로 일정하게 증감하여 작성)에 따라 최적화 모형을 적용하여 얻어진 재고수준을  $w_k^t$ 라고 정의하면,  $\bar{w}_k^t, w_k^t$ , 그리고  $w_k^t$  사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

i) 실제 재고가 많은 경우

$$w_k^t \leq \bar{w}_k^t \leq \hat{w}_k^t \text{ or } \bar{w}_k^t \leq w_k^t \leq \hat{w}_k^t$$

ii) 실제 재고가 적은 경우

$$w_k^t \geq \bar{w}_k^t \geq \hat{w}_k^t \text{ or } \bar{w}_k^t \geq w_k^t \geq \hat{w}_k^t$$

따라서 기회비용 산정의 기준이 되는 평균수요와 공급을 사용하여 방법론을 적용할 경우 재고수준의 증감으로 인한 기회비용은  $|\bar{w}_k^t - w_k^t|$ 가 되고, 수요와 공급 변화 시나리오에 의한 기회비용은  $|\hat{w}_k^t - w_k^t|$ 가 된다. 그러면 평균수요와 공급에 의한 기회비용과 시나리오에 의한 기회비용의 차이는  $|\bar{w}_k^t - w_k^t|$ 로 나타낼 수 있다. 평균 수요와 공급에 의한 기회비용을 기준으로 시나리오에 의해 발생하는 상대기회비용은 기준재고보다 클 경우는 음(-)의 기회비용이 발생하고 적을 경우는 양(+)의 기회비용이 발생하게 된다. 따라서, 재고수준의 증감에 따른 기회비용은  $\bar{w}_k^t$ 와  $w_k^t$ 의 함수이기 때문에  $IC_k^t(w_k^t, \bar{w}_k^t)$ 로 정의할 수 있다. 계획기간 동안의 모든 데포의 재고수준의 증감에 따른 상대 기회비용의 합은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{t=1, \dots, T} \sum_{k \in P \cup D} IC_k^t(w_k^t, \bar{w}_k^t) = \sum_{t=1, \dots, T} \sum_{k \in P \cup D} (\bar{w}_k^t - w_k^t) \cdot \hat{C}_k^t \quad (1)$$

단,  $\hat{C}_k^t$ 는 기간 t의 데포 k의 공컨테이너 재고에 대한 단위기회비용

이때, 확정적 모형을 적용하여 얻은 계획기간 동안의 공컨테이너 재배치 및 임대비용을  $\sum_{t=1, \dots, T} OC^t$ 라고 정의하면, 공컨테이너 운영 관리에 소요되는 총비용은 식(2)가 된다.

$$TOC = \sum_{t=1, \dots, T} OC^t + \sum_{t=1, \dots, T} \sum_{k \in P \cup D} IC_k^t(w_k^t, \bar{w}_k^t) \quad (2)$$

본 논문에서 제안한 방법론을 실제 적용할 때는 계획기간의 시작 시기부터 처음 몇 기간 동안의 수요와 공급은 확정적이라고 가정할 필요가 있다. 예를 들어, 계획기간이 시작되는 시점의 수요와 공급은 변화할 가능성이 거의 없고 또한, 수요와 공급의 변화가 의사결정변수에 미치는 영향을 알 수 있기 때문에 이러한 기간에 대해서는 수요와 공급을 확정적으로 가정할 수가 있다. 기간 1에서 기간 n까지의 수요와 공급을 확정적이라고 간주하고, 기간 n+1에서 기간 T까지의 수요와 공급을 확률적으로 간주할 경우 시나리오 s에 의한 공컨테이너 운영 관리에 소요되는 총비용( $TOC_s$ )은 다음 식(3)과 같다.

$$TOC_s = \sum_{t=1, \dots, n} OC^t + \sum_{t=n+1, \dots, T} OC_s^t \quad (3)$$

$$+ \sum_{t=n+1, \dots, T} \sum_{k \in P \cup D} IC_k^t(w_k^t, \overline{w_k^t})$$

for all  $s \in S$

식(3)에서 우변의 첫 번째 항은 수요와 공급을 확정적이라고 간주한 기간의 공컨테이너 재배치 및 임대 비용, 두 번째 항은 수요와 공급이 불확실한 기간 동안의 시나리오 s에 의한 재배치 및 임대 비용 그리고, 마지막 항은 수요와 공급이 불확실한 기간 동안의 시나리오 s에 의한 발생하는 재고 수준의 증감에 따른 기회비용의 합을 의미한다.

이때, 시나리오 s에서 수요와 공급이 불확실한 기간 동안 발생하는 비용인 두 번째 항과 세 번째 항의 합을  $RC_s(w_k^t, \overline{w_k^t})$ 라고 정의하고, 모든 시나리오에 대해  $RC_s(w_k^t, \overline{w_k^t})$ 를 구해서 최소가 되는 것을  $RC(w_k^t, \overline{w_k^t})$ 라고 정의하면, 본 논문에서 제안하는 방법론에 의한 공컨테이너 운영 관리 문제의 목적함수는 식(4)와 같고, 공컨테이너 재배치 및 임대 방안은 식(5)를 만족하는 수요와 공급 시나리오를 기준으로 한다.

$$\sum_{t=1, \dots, n} OC^t + RC(w_k^t, \overline{w_k^t}) \quad (4)$$

$$RC(w_k^t, \overline{w_k^t}) = \text{minimum}[RC_s(w_k^t, \overline{w_k^t}) | \forall S] \quad (5)$$

지금까지 살펴본 공컨테이너 재배치 및 임대 계획에 있어서 장래 수요와 공급의 불확실성으로 인해 발생하는 기회비용은 첫째, 충분한 안전재고를 유지하지 않았을 경우 화물 수송 수요를 충족하기 위해 단기 임대하는 비용과 둘째, 실제 필요한 수요보다 많은 재고를 갖고 있을 경우 불필요한 재배치 비용이나 재고유지비용이 발생한다. 따라서 공컨테이너가 남는 경우와 부족한 경우의 기회비용을 적절히 결정할 수 있다면 현실적인 제약하에서 장래 수요와 공급의 불확실성을 적절히 반영할 수 있을 것이다.

## 4. 적용 및 검증

### 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(west-bound)의 경우 울산출항하여 부산, 킴포, 카오슝, 홍콩, 람차방, 방콕 순으로 기항하고, 동진(east-bound)의 경우 람차방, 카오슝, 킴포를 거쳐 울산으로 돌아온다. 사례연구의 계획범위는 A선박이 울산출항하는 2월 19일부터 4월 1일까지이고 이 기간의 각 항에서 선박의 출항기간은 Table 1과 같다.

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

Table 1 Vessel Schedule

구분 방향 선박	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	-	-	-	-	-	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.

경우 항만에서 발생하는 하역비용이 내륙 운송비용보다 비싸기 때문에 실제 모델선사의 경우 이러한 루트에서의 이동은 내륙운송을 하고 있다. 이와 같이 계산한 데포간 운송시간은 Table 2와 같다.

모델선사의 경우 해상 구간에서의 공컨테이너 운송은 미리 계획된 항차의 자사 선박의 여유 공간을 이용하기 때문에 해상 구간에서의 운송비용은 고려하지 않고, 최초 출발 데포에서 최종 도착 데포까지 공컨테이너를 운송하기 위해 항만을 경유

Table 2 Transportation time

공급 수요	P1	P2	D2	P3	D3	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	1	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

\* P는 항만, D는 내륙데포, 번호는 기항순서에 따른 지역 구분

\* () 안은 동진 선박에 적재될 경우의 운송 시간

Table 3 Transportation cost

공급 수요	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

할 경우 항만에서 이적이나 환적을 위한 하역비용은 운송비용에 포함한다. 데포간 운송비용은 [표3]과 같다.

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, 국내에서는 TEU당 \$26을 적용하고, 임대기간에 따라 발생하는 비용은 임대 시점에서 수요 데포까지 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 임대 비용 계산시 제외한다.

4.2 수요와 공급 자료

모델선사로부터 공컨테이너 수요에 대한 직접적인 자료는 제공받을 수 없었지만 매일 매일의 데포별 재고현황 및 유출과 유입에 대한 자료를 제공받을 수 있었다. 사례연구에서는 특정 기간 직전의 재고에 특정 기간의 임대량, 재배치로 인한 유입량,

수하인으로부터의 회수량을 더한 값에서 특정 기간의 재배치 작업에 의해 데포에서 유출되는 수량을 뺀 것을 공컨테이너 수요로 간주하였다.

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 다음날의 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(부록 참조).

장래 불확실한 수요와 공급의 변화에 대한 시나리오는 단순히 예측 결과의 표준편차를 기준으로 일정한 비율로 증감한다. 수요와 공급에 대한 예측 결과의 평균과 표준편차는 Table 4와 같으며, Table 5에 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 Table 6과 같다.

Table 6 Initial inventory and external inflow

구 분	데포 기간	P1	P2	D1	P3	D2	P4	P5	P6	P7
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 적용 결과 및 해법 소개

사례연구에서 공컨테이너 재배치 및 임대 의사 결정에서 고려하는 시간범위는 21일로 가정하며, 각 계획기간의 처음 1주일 동안 수요와 공급은 알고 있다고 가정하고 실제 수요와 공급 자료를 사용하고 다음 2주 동안은 수요와 공급 시나리오에 따라 만들어진 자료를 사용한다. 한편, 본 논문에서 제안한 방법론을 적용하기 위해서는 먼저 장래 불확실한 수요와 공급으로 인한 재고의 증감에 대한 기회비용을 정의해야 하는데, 사례적용에서는 재배치 및 임대 비용과 재고의 증감에 따른 기회비용 사이의 트레이드오프를 설명하기 위해 단순히 장래 데포의 재고가 실제 필요한 수량보다 많을 때와



적을 때를 구분하지 않고 동일하게 해당 데포의 단기 임대비용의 15%에 해당하는 기회비용이 발생하는 것으로 가정한다. 그리고 해상 운송구간에서의 공컨테이너 이동과 데포에서의 저장 및 임대용량에 대한 제약은 없는 것으로 가정하였다.

제안한 방법론의 적용과정을 간략히 설명하면, 첫 번째 계획기간에서는 먼저 2월 19일부터 3월 11일까지 3주 동안의 수요와 공급 시나리오에 대해 최적화 모형을 적용하여 재배치 및 임대비용과 재고의 증감에 대한 기회비용을 구하여 모든 시나리오에 대한 총관리비용을 계산한다. 담당자는 총관리비용을 최소화하는 수요와 공급 시나리오를 기준으로 처음 1주일 동안 공컨테이너 재배치 및 임대 에 대한 의사결정을 수행한다. 그리고 1주일 뒤에 다시 이용 가능한 최신 정보를 바탕으로 하여 두 번째 계획 기간이 시작된다. 즉, 두 번째 계획 기간에서는 2월 26일부터 3월 18일까지 3주 동안에 대해 다시 최적화 모형을 적용하여 총관리비용을 최소로 하는 시나리오를 기준으로 다시 1주일 동안 공컨테이너 재배치 및 임대와 관련된 의사결정을 수행한다. 이러한 과정을 반복하여 4주 동안 제안한 방법론을 적용한다.

4.3.1 해법 소개

사례연구에서는 분담탐색법(branch and bound method)을 사용하여 최적해를 찾는 LINDO 프로그램을 이용하여 근사해를 구하였으며, 목적함수의 최적성 허용범위는 IP 모형의 이론적 경계인 IP bound의 0.0005로 하여 실행가능 정수해가 허용범위 내에 수렴하면 반복 계산을 종료하였다. 사례연구에서 근사해를 구한 과정은 다음과 같다. 이러한 과정을 통하여 분석한 모형들의 수렴 결과는 Table 7과 같다.

Table 7 Convergent results of the proposed algorithm applied in models

모형	근사해	IP bound	반복 횟수	계산 시간	이론적 오차
평균	306321	306230	5.29	193	0.00029

단계 1 : 목적함수의 최적성 허용범위(optimality tolerance)를 1%로 하여 실행 가능한 초기 정수해를 구한다.

- IP bound와 단계 1에서 구한 초기해의 목적함수의 차이를 구해 변수 고정 허용치(fixing variable tolerance)로 한다(감소비용이 허용치보다 큰 변수를 먼저 분기).
- IP bound에 변수 고정 허용치의 1/2을 더해서 목적함수 허들(objective huddle)로 한다(실행가능 정수해의 목적함수가 허들보다 적을 때까지 정수해를 찾는다).

단계 2. : 단계 1에서 구한 변수 고정 허용치와 목적함수 허들을 입력하여 실행 가능해를 찾아서 최적성 허용범위와 비교하여 허용범위 내에 있으면 중단하고 그렇지 않으면 단계 1을 반복한다. 만약 단계 2에서 실행 가능한 정수해를 찾지 못하면 단계 1에서 구한 목적함수 값을 IP bound로 하여 단계 1을 반복한다.

4.3.2 적용 결과

제안한 방법론을 적용하여 각 계획기간에서 시나리오 별로 발생하는 재배치 및 임대비용과 상대 기회비용은 Table 8과 같다.

4.4 평가

이 절에서는 수요와 공급을 확정적으로 가정하는 기존의 방법론과 본 연구에서 제안한 방법론에 의한 분석 결과를 실제 수요와 공급 자료를 근거로 한 분석 결과와 비교한다. 사례 연구에서 시나리오 0에 의한 수요와 공급 자료는 기존의 확정적 모형에서 사용하는 수요와 공급의 예측 자료라고 볼 수 있기 때문에 기존의 확정적 방법론은 모든 계획기간에 걸쳐서 시나리오 0의 수요와 공급 자료를 사용한 경우의 재배치 및 임대 방안이 된다. 따라서 실제 수요와 공급 자료를 이용하여 최적화 모형을

Table 8 Operating and opportunity costs

계획 기간	시나리오	재배치 및 임대비용	상 대 기 회 비 용	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	299724	12958	312682	
2 (2/26- 3/18)	0	321180	0	321180	
	1	320080	-13207	306873	선택
	2	299237	37585	336822	
	3	318816	-8559	310257	
	4	313088	16628	329716	
3 (3/05- 3/25)	0	307485	0	307485	
	1	312682	-13347	299335	선택
	2	275392	44139	319531	
	3	313433	-11723	301700	
	4	291557	20422	311980	
4 (3/12- 4/01)	0	312801	0	312801	
	1	314240	-23627	290613	선택
	2	273854	44647	318501	
	3	313893	-19233	294660	
	4	296282	15918	312200	

적용하여 얻은 각 데포별 재고를 기준으로, 본 연구에서 제안한 방법론과 기존의 확정적 방법론에 의한 재고의 차를 계산하여 재고의 증감에 대한 실제 기회비용을 산정한다. 이와 같이 산정된 기회비용과 두 가지 방법의 재배치 및 임대 비용의 합을 비교하여 제안한 방법론의 타당성을 평가한다.

사례연구의 계획범위인 42일 중에서 실제 재배치와 임대를 실행하는 28일 동안 발생하는 공컨테이너 재배치 및 임대비용과 기회비용은 Table 9와 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

Table 9 Comparisons of the stochastic and deterministic approaches

구 분		계획 기간 1	계획 기간 2	계획 기간 3	계획 기간 4	합 계
운송 비용	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
임대 비용	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
저장 비용	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
기회 비용	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 방법론에 의해 분석  
 C는 실제 수요와 공급자료를 이용한 분석

\$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. Table 10과 Table 11은 동일한 기간의 재배치 및 임대 방안을 사례 별로 비교하여 나타내고 있다. Fig. 2는 계획기간 동안의 재고 변화 추이를 비교한 것이다.

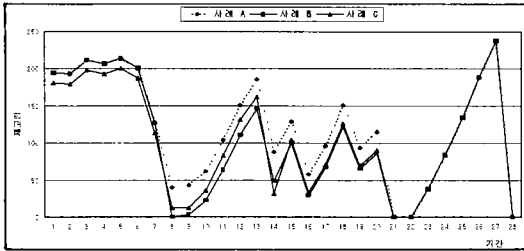


Fig. 2 Trends of inventory level : Ulsan depot

Table 10 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	
	울산	부산	3		35
8	울산	부산a	34	21	85
	키룽a	방콕			15
11	키룽	람차방	40	14	37
	키룽	방콕	45	41	28
12	카오슌	울산			3
	카오슌	방콕			8
13	카오슌	키룽			9
15	키룽a	키룽			6
	카오슌	키룽a	5		
17	홍콩	울산			65
	키룽	람차방			3
18	키룽	방콕	34	23	
	카오슌	람차방	10	3	
20	카오슌	방콕			15
	홍콩	람차방			12
21	키룽a	키룽	24	16	
	카오슌	키룽	17		
	울산	람차방			1
23	카오슌	키룽			41
	카오슌	키룽a			27
24	카오슌	키룽	9		9
	카오슌	키룽a			6
	키룽	방콕	5	5	
25	카오슌	울산	2	6	
	카오슌	부산	7	8	
	카오슌	부산a	9		4
	키룽	람차방			5
	키룽	방콕	5	5	

Table 11 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		

## 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.

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 예측

하여 이를 통합할 필요가 있다. 예를 들면, 과거 실적 자료를 바탕으로한 예측 결과와 영업부서나 장비관리부서의 수요나 공급에 대한 예상 결과를 지속적으로 비교·분석하여 이를 적절히 반영한다면 보다 우수한 예측 결과를 얻을 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- 1) 하원익, 남기찬, 공컨테이너 운영관리를 위한 모형 개발, 한국항해학회, 23권, 2호, 1999.
- 2) LINDO Systems, Inc., User's Manual for LINDO 6.1.
- 3) K. K. Lai, Kokin Lam and W. K. Chan, Shipping Container Logistics and Allocation, Journal of Operational Research Society, Vol. 46, 1995, pp. 678-697.
- 4) Florez Humberto, Empty-Container Repositioning and Leasing : An Optimization Model, Ph. D. dissertation Polytechnic Institute of New York., 1986.
- 5) Gao, Q., An Operational Approach for Container Control in Liner Shipping, Logistics and Transportation Review, Vol. 30, No. 3, 1993, pp. 267-282.
- 6) T. G. Crainic, M. Gendreau and P. Dejax, Dynamic and Stochastic Models for the Allocation of Empty Containers, Operations Research, Vol. 41, No. 1, 1993.

Appendix 1 Actual demand and supply

데포 기간	P1		P2		D2		P3		D3		P4		P5		P6		P7	
	수요	공급	수요	공급	수요	공급	수요	공급	수요	공급	수요	공급	수요	공급	수요	공급	수요	공급
1	71	54	13	55	9	37	52	37	35	25	0	42	0	31	129	40	22	24
2	48	46	0	44	0	30	0	38	0	25	98	40	0	32	188	20	27	39
3	22	41	88	71	59	48	65	37	44	25	0	39	19	31	57	34	64	26
4	35	30	10	46	7	30	25	37	17	25	168	43	92	28	0	22	52	29
5	78	85	13	35	9	23	48	41	32	27	14	40	0	28	0	21	96	30
6	67	54	43	53	29	35	41	36	27	24	54	39	14	41	0	27	2	36
7	108	34	80	56	53	37	0	42	0	28	28	43	10	36	0	27	27	27
8	26	39	292	53	195	35	67	41	45	27	21	37	32	28	270	20	18	31
9	52	52	197	61	131	41	21	43	14	29	67	46	0	51	18	27	91	19
10	27	51	25	34	17	23	17	44	11	29	28	37	0	34	0	27	0	21
11	0	47	63	53	42	35	22	46	14	31	37	44	62	41	53	26	104	32
12	0	48	77	62	51	41	69	38	46	26	27	45	0	31	24	22	9	21
13	12	43	92	36	61	24	0	42	0	28	8	35	0	33	0	38	20	37
14	172	42	57	58	38	39	0	34	0	22	46	34	0	42	77	27	25	40
15	16	49	175	52	117	35	178	35	119	23	1	40	21	41	181	18	24	33
16	114	43	49	37	33	24	0	39	0	26	0	33	86	37	27	39	156	45
17	18	56	22	54	15	36	213	39	142	26	182	43	0	30	0	25	0	42
18	0	55	19	45	13	30	0	41	0	27	17	44	0	32	116	18	55	35
19	92	35	72	59	48	39	38	43	25	29	0	34	0	28	91	30	162	34
20	44	65	44	57	29	38	37	38	25	25	76	42	73	40	61	31	16	18
21	211	53	83	59	55	39	19	44	13	29	14	34	0	32	61	17	0	25
22	129	59	41	63	27	42	70	32	46	21	18	31	18	18	0	28	228	53
23	25	63	88	67	59	45	39	46	26	30	0	39	0	46	119	21	7	35
24	13	59	35	46	23	31	89	41	59	28	28	42	168	32	63	37	0	36
25	5	55	0	50	0	33	47	38	31	25	12	37	0	35	0	25	243	22
26	0	55	28	42	19	28	35	40	23	27	37	47	0	44	160	34	47	35
27	0	49	136	52	91	35	1	31	0	21	29	37	156	42	0	29	15	31
28	336	80	23	49	15	33	0	38	0	25	6	41	0	44	161	27	37	45
29	51	64	150	36	100	24	4	38	2	26	28	45	153	36	0	33	75	34
30	61	55	53	62	36	42	27	33	18	22	106	39	0	38	0	26	0	29
31	45	49	40	61	27	41	34	46	22	31	4	38	0	26	24	18	40	48
32	19	44	20	11	14	8	46	44	31	29	0	45	148	25	74	31	130	35
33	123	46	32	42	21	28	3	38	2	25	19	46	0	37	99	23	17	37
34	6	45	47	53	31	36	63	43	42	29	105	33	0	33	72	21	0	23
35	218	46	84	62	56	41	14	41	9	27	0	31	0	37	0	24	0	39
36	17	61	141	61	94	40	46	36	31	24	25	31	122	43	0	35	14	29
37	71	60	23	35	15	23	44	35	30	24	79	39	0	50	117	35	51	35
38	35	37	87	57	58	38	31	38	21	25	28	41	90	44	0	34	31	40
39	80	74	114	50	76	33	37	44	25	29	0	41	0	40	0	34	174	40
40	39	67	42	58	28	38	50	37	33	25	30	40	0	36	9	23	41	32
41	29	41	62	69	41	46	7	43	5	29	22	40	55	22	291	23	0	14
42	22	44	65	11	59	8	39	44	26	29	12	45	0	25	119	31	7	35

Appendix 2 Demand and Supply forecasts

테포 기간	P1		P2		D1		P3		D2		P4		P5		P6		P7	
	수요	공급	수요	공급	수요	공급	수요	공급	수요	공급	수요	공급	수요	공급	수요	공급	수요	공급
1	77	53	11	55	7	37	43	38	28	25	0	42	0	31	104	40	30	25
2	55	46	0	45	0	30	0	37	0	25	62	40	0	33	172	21	28	40
3	28	42	70	72	46	48	43	37	28	25	0	38	10	31	79	34	56	26
4	35	31	22	46	15	30	19	38	12	25	118	43	76	29	0	23	52	28
5	69	86	15	35	10	23	23	41	16	27	19	40	0	27	0	20	88	30
6	68	55	37	52	25	35	20	35	13	24	31	38	10	41	0	26	20	37
7	100	34	71	56	47	38	0	43	0	28	12	43	11	36	0	27	25	27
8	41	39	248	53	166	35	34	41	23	27	3	37	27	29	214	21	20	31
9	50	53	207	61	138	41	20	43	13	28	48	47	0	52	57	26	77	19
10	32	51	62	34	41	23	8	43	6	29	23	37	0	35	0	26	11	22
11	4	46	63	53	42	35	7	46	5	30	19	44	42	41	37	26	85	32
12	0	47	74	61	49	41	47	38	31	25	9	46	3	31	26	22	25	21
13	8	43	89	36	59	24	1	41	0	28	0	35	0	33	0	39	20	37
14	140	42	62	58	42	38	0	34	0	22	21	35	0	42	59	27	25	40
15	41	49	153	53	102	35	130	35	86	24	0	40	11	41	157	18	24	34
16	100	43	70	37	46	25	17	40	11	26	0	34	70	36	53	40	129	45
17	34	56	32	53	21	36	162	38	108	26	126	42	0	31	5	26	14	42
18	5	56	22	45	15	30	23	40	15	27	32	44	0	32	93	17	47	35
19	75	35	61	59	41	39	25	44	16	29	0	34	0	29	92	29	140	34
20	49	65	47	57	32	38	19	38	12	26	44	42	48	40	68	31	41	18
21	180	53	76	58	51	39	0	44	0	29	4	34	0	31	62	16	0	25
22	139	60	47	62	32	42	47	32	32	21	0	31	0	18	0	29	182	52
23	47	63	80	67	53	44	31	46	21	30	0	39	0	46	90	21	41	35
24	19	58	43	47	29	31	62	41	42	28	4	42	125	32	69	36	0	37
25	9	54	5	50	3	33	37	38	24	25	0	36	0	34	0	24	193	23
26	0	55	23	43	16	28	20	40	14	26	13	47	0	43	126	35	76	36
27	0	48	114	52	76	34	2	31	2	21	16	37	118	42	25	29	27	31
28	265	81	41	49	27	32	0	38	0	25	0	41	0	43	135	26	34	44
29	93	64	128	36	86	24	0	38	0	25	7	46	119	36	0	33	67	33
30	67	54	69	62	46	42	9	34	6	22	70	39	0	39	0	25	5	29
31	50	48	46	62	30	41	13	46	8	31	11	39	0	27	11	18	34	48
32	26	44	25	12	17	8	28	44	19	30	0	45	106	26	61	31	111	35
33	104	46	31	41	21	28	0	37	0	25	0	46	0	37	91	22	36	36
34	26	46	44	53	29	36	35	44	24	29	66	32	0	33	76	22	2	22
35	180	45	76	62	50	41	1	41	0	27	1	31	0	37	0	23	0	39
36	49	61	128	61	85	40	29	37	19	24	6	32	87	43	0	36	10	29
37	68	61	44	35	30	23	35	35	24	23	54	39	0	50	87	35	43	35
38	41	36	78	58	52	39	22	37	14	25	27	42	66	43	10	35	33	41
39	72	73	106	49	71	33	17	44	12	30	0	40	0	41	0	34	147	39
40	46	67	55	58	36	38	34	38	22	25	8	40	0	36	4	24	63	33
41	69	41	15	68	10	45	23	43	16	29	19	40	0	22	0	22	88	13
42	50	54	46	62	30	42	13	34	8	22	11	39	0	39	11	25	34	29