

# 공 컨테이너의 임대 계획을 위한 수리 모형 및 해법

박선욱, 김갑환

부산대학교 산업공학과

609-735, 부산광역시 금정구 장전2동 산30번지 부산대학교 공과대학 산업공학과  
Tel: +82-51-510-2419, Fax: +82-51-510-7603, E-mail: [berner@hanmail.net](mailto:berner@hanmail.net), [kapkim@pusan.ac.kr](mailto:kapkim@pusan.ac.kr)

## 요약

선사에서 화물을 수송하기 위해 필요한 컨테이너 수요를 만족시키기 위해서 컨테이너를 구매 하고 임대 하는 계획 작성 방법에 대하여 다룬다. 수요의 계절성을 고려하여 각 기간별로 구매 또는 임대하여야 할 컨테이너의 개수와 임대기간을 결정한다. 컨테이너의 수요를 예측하고 컨테이너 구매 및 임대 계획작성을 위한 확정적 수리모형을 제안하였으며 이 모형의 해를 구하기 위한 발견적 기법을 제안하였다.

**Keywords**: 수송, 공 컨테이너, 수리계획법

## 1. 서론

컨테이너 운송 시장의 규모는, 국내의 선사의 컨테이너 보유량을 기준으로 약 13억 달러 가량의 자산을 형성하고 있으며, 연간 약 7천만 달러의 비용을 컨테이너를 임대하는데 지출하고 있다. 선사는 사용하지 않고 남아도는 공 컨테이너 관리의 중요성에 대하여 인식을 하여 효율적인 관리를 위해 노력하고 있으나 그 노력이 선사의 자산 관리나 재고 관리, 컨테이너 추적에만 집중되어왔다. 본 연구에서는 컨테이너의 수요를 예측하고, 공 컨테이너의 수요를 만족시키기 위한 공 컨테이너의 구매 및 임대 계획에 대한 수리적 모형 및 발견적 기법을 제시하며 다양한 수치 실험을 통해 발견적 기법의 성능을 비교자 한다.

Dejax 와 Crainic [10]은 공 컨테이너의 흐름 연구에 대한 정적, 동적에 관한 확률적 모델을 포함하는 다양한 컨테이너 수송에 관한 연구를 소개 하였고, Crainic and Laporte [9]은 화물 수송의 계획과 운용에 대한 다양한 수리모형을 소개하였다. 공 컨테이너 수송에 대한 많은 연구가 캐나다 몬트리올에 있는 수송연구 센터 (CRT)의 연구원들에 의해 발표되었다 (Abrache [1], Crainic [4], Crainic [6], Crainic [8], Gendron [12]). Crainic 외 2인 [7]은 공 컨테이너의 배송 문제와 관련하여 동적인 특성과 수요 공급의 불확실성을 다루는 모형 수립에 초점을 두고 내륙 배송시스템에서의 공 컨테이너 할당을 위한 모형을 제안하였다. Cheung과 Chen [3]은 공 컨테이너 재배치를 필요로 하는 동적인 공 컨테이너 할당문제와 화주의 수요를 만족시키는 임대 컨테이너의 수 결정 문제를

다루었다. 이를 위하여 확정적인 2단계 확률 네트워크 모델을 제안하였다. Du [11]는 재고 모델을 이용하여 공 컨테이너 문제에 접근하였다. Lai 외 2인 [14]은 공 컨테이너의 대륙간 재배치에 대한 간단한 운영 규칙을 제안하였다. Shen과 Khoong [15]은 공 컨테이너 배치를 고려하는 대규모 계획 문제를 풀기 위한 의사결정 지원 시스템을 다루고 있다. 이 의사결정 시스템은 네트워크 최적화 모델을 사용하였고, 비용면에서 효율적인 임대 의사결정을 위한 지원 시스템을 제안하였다. Hall [13]은 수송 네트워크에서 컨테이너 흐름의 불균형과 임의성을 예측하는 방법을 제안하였고, 불균형으로 인하여 발생하는 비용에 대해 논의하였다.

그러나, 계절적인 수요를 고려한 공 컨테이너의 임대와 구매 계획 문제에 대해서는 지금까지 연구가 없었다.

## 2. 컨테이너의 수요 예측

r 항구에서 컨테이너가 양하되어 육상에 머무는 시간 ( $t_r$ ) 은 r항만 체류시간 ( $u_r$ )<sup>+</sup> 화주로부터 돌려 받는 시간 ( $a_r$ )<sup>+</sup> 선박 적하 전에 항만 체류시간 ( $e_r$ )<sup>+</sup>으로 나타내고,  $t_{rs}$  는 풀 컨테이너 및 공 컨테이너의 수송 시간을 나타낸다.

컨테이너를 수송하는 동안에 소요되는 시간은 다음과 같이 3부분으로 분류된다. 단위 시간 동안 r 항만을 통과하는 양하 및 적하 컨테이너의 최대 수를  $n_r^l$  이라고 하고, r 항구에서 s항구까지 단위 시간당 수송되는 컨테이너 수를  $n_{rs}^0$  하며, r 항구에서 s항구까지 단위 시간당 수송되는 공 컨테이너의 수를  $n_{rs}^e$  라고 한다.  $n_r^l$  와  $n_{rs}^0$  은 항구 간의 수송 수요 예측으로부터 모을 수 있고,  $n_{rs}^e$  에 대한 예측 방법은 제 3장에서 다루고자 한다. r 항만을 통과하는 내륙 컨테이너 ( $d_r^l$ )는  $d_r^l = n_r^l t_r$  로 예측할 수 있고, r 항만에서 s항만까지 선박에 적재된 컨테이너 ( $d_{rs}^o$ )는  $d_{rs}^o = n_{rs}^o t_{rs}$  로 예측할 수 있다. r 항구에서 s항구까지 선박에 적재되어 이동하는 공 컨테이너 수 ( $d_{rs}^e$ )는  $d_{rs}^e = n_{rs}^e t_{rs}$  로 예측할 수 있다. 따라서,

총 컨테이너의 수요는  $\sum_r d_r^l + \sum_{r,s} (d_{rs}^o + d_{rs}^e)$  와 같

이 나타낼 수 있다.

즉 컨테이너의 내륙 채류 기간과 풀 컨테이너 및 공 컨테이너의 해상 수송량을 합하면 총 컨테이너 수요를 예측할 수 있다.

### 3. 반입 컨테이너의 장치 위치 결정 방안

본 장에서는 컨테이너 터미널에 대한 간략한 소개와 함께 적하 작업시 장치장에서의 컨테이너 재취급 문제 및 재취급 발생의 최소화를 위한 휴리스틱에 대하여 보다 자세히 설명한다.

#### 3.1. 공 컨테이너 임대 모델

본 절에서는 컨테이너의 미래 수요를 만족시키는 구매와 임대 컨테이너에 대한 수학적 모델을 제안하고자 한다. 모델 개발을 위해 자사 컨테이너는 사용 기간이 미리 결정되어 있고 선사 담당자가 각 기간에 대한 수요를 미리 알고 있으며 수요는 확정적이라는 가정을 두었다.

공 컨테이너 임대 문제의 공식화를 위해 아래의 기호를 소개한다.

$n$  = 계획 기간의 길이.

$p$  = 구매한 컨테이너가 사용될 수 있는 기간의 수.

$c_{ij}$  =  $i$  기간에서  $j$  기간까지 컨테이너 당 임대하는 비용.

$j-i > k-i$  일 때  $c_{ij} > c_{ik}$  이라고 가정한다.

$j = i + p$  일 때, 이 비용은 구매 비용에서 중고 컨테이너의 처분 가치를 뺀 비용.

$h_i$  =  $i$  기간동안 보관, 보수 비용을 포함한 컨테이너 재고 유지 비용.

$b_i$  =  $i$  기간에 컨테이너의 수요.

$a_i$  =  $i$  기간 말에 임대 회사로 반환되거나 처분될 계획인 컨테이너의 개수.

$d_i$  =  $i$  기간에 컨테이너의 순수요.  $i$  기간 까지 가용한 컨테이너의 초기 개수를 초과하

는 수요.

$$d_i = b_i - \sum_{k \geq i} a_k$$

$s_i$  =  $i$  기간에 컨테이너의 순 수요 변화.

$$s_1 = d_1, s_i = d_i - d_{i-1} \text{ for } i = 2, \dots, n, s_{i+1} = -d_n$$

$e_{ij}$  =  $i$  기간 초부터  $j$  기간 초까지 임대할 수 있는 컨테이너의 최대 개수.  $j = i + p$  일 때 이 수치는  $i$  기간 초에 구매할 수 있는 컨테이너의 최대 수.

$e_i$  = 사용되지 않은 컨테이너로 쌓일 수 있는 컨테이너의 최대 수. 컨테이너 야드의 저장 용량이 제한.

$X_{ij}$  =  $i$  기간의 초부터  $j$  기간 초까지 임대 컨테이너 수(결정 변수).  $j = i + p$  일 때  $i$  기간에 구매된 컨테이너의 변수.

$Y_i$  =  $i$  기간에 컨테이너 야드에 사용되지 않고 쌓인 컨테이너의 수(결정 변수).

컨테이너 구매 및 임대 기간을 [그림 1] 과 같이 네트워크로 나타낼 수 있다.  $i$  노드에서 컨테이너 순수요의 변화는  $i$  노드로부터  $j$  노드로 ( $X_{ij}$ ) 흘러가는 임대 또는 구매되어 만족되어야 한다.

공 컨테이너의 순 수요의 변화를 관찰하여 순수요가 초과인 노드는 공급 노드로 부족한 노드는 수요 노드로 하여 각 구간마다 주어진 비용 구조 하에서 각 공급 노드에서 모든 수요 노드로 가는 최소 비용 거리를 구하게 된다.

$$\text{Min } \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i} c_{ij} X_{ij} + \sum_{i=1}^n h_i Y_i \quad (1)$$

subject to

$$\sum_j X_{ij} - Y_i = s_i$$

$$- \sum_i X_{ij} + \sum_i X_{ji} + Y_{j-1} - Y_j = s_j, j = 2, 3, \dots, n, \quad (2)$$

$$- \sum_i X_{i(n+1)} + Y_n = s_{n+1},$$

$$X_{ij} \leq e_{ij} \text{ for all } i \text{ and } j$$

$$Y_i \leq e_i \text{ for all } i$$

$$X_{ij}, Y_i \geq 0 \text{ for all } i \text{ and } j. \quad (3)$$

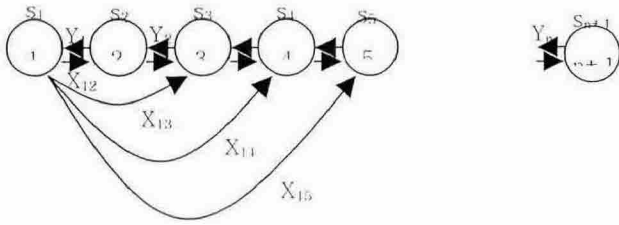


그림 1- 컨테이너 구매 및 임대 네트워크

제약식 (2)-(4)은 각각 기간 1에서 기간 n을 거쳐 노드 n+1까지의 흐름 보존을 나타낸다. 제약식(5)는 기간 i에서 기간 j까지 임대할 수 있는 최대 임대 가능량에 대한 제약을 나타낸다. 성수기에 임대 회사로부터의 컨테이너 공급할 수 있는 양이 부족하기 때문에 컨테이너를 임대할 수 있는 최대 컨테이너 임대량에 제한을 두었다. 제약식(6)은 기간 i에서 기간 j까지 컨테이너 재고 용량 제한을 나타낸다. 컨테이너 야드에는 컨테이너를 최대 적재할 수 있는 양의 한계가 존재하기 때문에 컨테이너 최고 재고량 제한을 두었다. 최소 비용 네트워크 흐름 문제에 상응하는 이 모형은 최소 비용 네트워크 흐름 문제에 대하여 이미 알려져 있는 알고리즘으로 풀 수 있다.

### 3.2. 공 컨테이너 수송 모델

그림 3은 장치장을 기준으로 적하할 컨테이너의 어떤 경우에는 제약식 (5)와 (6)과 관련된 아크에 용량과 같은 제한이 없는 경우가 있을 것이다. 즉 임대 가능한 컨테이너 양과 컨테이너 재고량의 제한이 없는 경우에는 이 문제는 수송 문제로 변환할 수 있다. 3.1에서 최소 비용 네트워크 흐름 문제로 풀 결과 값을 그대로 가져오고 3.1에서 제시한 공식의 용량 제약을 제거하면 다음과 같은 수송 문제가 된다.

$$\text{Min } \sum_{i \in H} \sum_{j \in G} u_{ij} Z_{ij} \quad (8)$$

subject to

$$\sum_{i \in H} Z_{ij} = -s_j \quad \text{for } j \in G \quad (9)$$

$$\sum_{j \in G} Z_{ij} = s_i \quad \text{for } i \in H \quad (10)$$

$$Z_{ij} \geq 0 \quad \text{for } i \in H \text{ and } j \in G. \quad (11)$$

초과 노드  $s_i$ 의 세트와 부족 노드  $s_j$ 의 세트를 각각 H와 G라고 하자. 노드 i로부터 노드 j까지 최소 비용을  $u_{ij}$ 라고 한다. 결정변수  $Z_{ij}$ 는 네트워크 상에서 i노드에서 j노드까지 흐름량을 나타낸다. 3.1장에서 공 컨테이너의 순수요 변화를 통해 구한 최

소 비용 거리를 따라서 각 공급 노드에서 모든 수요 노드로 흘러주는 수송 문제로 나타내었다.

다음과 같은 임대 알고리즘을 이용하여 문제를 풀고자 한다.

단계 1: 양의 값  $s_i$ 를 가진 각 노드에서 음의  $s_j$  값을 가진 모든 노드까지의 네트워크에서 최소 비용 거리를 계산한다. 노드 i에서 노드 j까지의 비용을  $u_{ij}$ 라 한다.

단계 2: 단계 1에서 구한 비용  $u_{ij}$ 를 이용하여 양의 값  $s_i$ 를 가진 노드를 공급 노드, 음의 값  $s_j$ 를 가진 노드를 수요 노드로 하여 수송 문제를 푼다.

## 4. 공 컨테이너 발견적 임대 기법

### 4.1 발견적 임대 기법

공 컨테이너는 임대 시점, 기간, 장소에 따라서 임대 비용이 각각 다르다. 본 연구에는 공 컨테이너의 임대계획을 작성하기 위한 근시안적인 발견적 기법을 제안하고자 한다. 선사의 공 컨테이너 담당자의 입장에서 임대 비용과 재고 비용을 고려하여 각 임대 기간에 따라 한 단위 임대 기기의 비용을 비교함으로써 효율적인 공 컨테이너를 임대하도록 하였다.

#### <공 컨테이너 발견적 기법 임대 절차>

인덱스 i는 컨테이너를 임대하는 시점을 나타낸다. j는 각 월별 수요를 검색하여 임대 시점 (i)의 수요보다 작은 수요를 가진 달을 나타낸다.  $U(i, j)$ 를 한 단위 임대 비용이라고 하자.

단계 0:  $i=0$

단계 1:  $i=i+1$ , 만약  $i > n-1$ 이면 임대절차를 끝내고, 그렇지 않으면  $d_i$ 의 수요보다 작은 기간 k를 찾는다. 즉, 공 컨테이너를 임대를 시작하고자 하는 i월에서부터 다음 달 수요를 검색하여 i월 수요보다 작은 값을 가진 월 수요를 검색한다. 만일 i월의 수요가 0인 경우에는 다음 달의 수요를 검색하여 수요가 존재하는 달을 찾아 그 달을 시작 달로 설정한다.  $j=k$ 로 둔다. 그리고 단계 2로 간다.

단계 2:  $U(i, j)$ 를 계산한다.

$$U(i, j) = \frac{(\text{i-j기간까지 총 임대비용}) + (\text{i-j기간까지 총 재고 비용})}{\text{임대량} \times \text{임대 기간}}$$

$j=j+1$ . 만일  $U(i, j) > U(i, j-1)$ 이면 단계 3로 가고, 그렇지 않으면 이 단계의 처음으로 간다.

i월에서 j월까지 i월의 수요량만큼 총 임대 비용을 구하고, j월까지 사용하지 않고 재고로 남아 있는 공 컨테이너의 총재고 비용을 더하여 총 비용을 구한다.

총비용을 총 임대기간과 총 임대량을 곱한 값으로 나누어 공 컨테이너 한 대를 빌릴 때의 단위 임대 비용을 구한다.

단계 3:  $U(i,j)$ 를 비교, 최소  $U(i,j)$ 를 가진  $j^*$ 를 선택,  $s_i$ 의 컨테이너를 기간  $i$ 에서 기간  $j^*$ 까지 임대 하고, 단계 1로 간다.

이 발견적 기법에서는 한 단위 임대 비용  $U(i, j)$ 을 비교하여, 최소인 경우의 임대 기간을 채택한다. 즉 한 단위 임대비용이 계속 하락하는 경우에는 다음 월의 한 단위 임대 비용을 계속 구하여 한 단위 임대 비용이 상승하는 경우까지 구하고 검색을 멈추고, 각 한 단위 임대 비용  $U(i, j)$ 을 비교하여 최소값을 가진 경우에 대하여 임대 기간을 정한다. 단계 3이 끝나면 단계 1로 돌아가서  $i+1$ 월을 시작 달로 설정하여 위의 과정을 반복한다.

#### 4.2 수치 실험

수치 실험을 위하여 각 수요가 많을 경우에는 단 위기간당 임대 비용이 비싸고, 수요가 적을 때에는 수요가 많은 경우 보다는 단위기간당 임대비용이 저렴한 가격 구조를 취하도록 하였다. 본 절에서는 다양한 수요 갖는 경우에 대하여 발견적 임대 기법을 적용하였고, 최적해에서의 목적함수의 값과 본 논문의 발견적 기법을 이용한 목적함수 값을 비교하였다. 월간 수요가 사인 곡선, 코사인 곡선, U 곡선, 상승 곡선, 하향 곡선에 따라 변하는 경우 각각에 대해서 수치 실험을 수행하였다.

##### 4.2.1 사인 곡선 수요

해운 시장의 환경은 계속 변화하고 있으며, 컨테이너의 성수기 및 비수기가 존재하고 있다. 본 절에서는 컨테이너의 수요가 주기적 혹은 계절적인 특성을 가지며 그 형태가 사인 곡선의 형태를 따르는 경우에 대하여 진폭 10단위씩 늘려가면서 수치 실험을 수행하였다.

표1에서 볼 수 있듯이 발견적 기법을 적용한 목적 값의 평균은 \$10,349, 표준 편차는 135 이었다. 최적 해의 목적 값의 평균은 \$9746, 표준편차는 117이 었다. 평균 오류 값은 약 6.1%를 나타내었다.

표1- 사인 곡선 수요의 실험 비교

문제	발견적 기법	최적해	오차(%)
1	10123	9553	6.0
2	10241	9596	6.7
3	10325	9639	7.1
4	10185	9683	5.2

5	10305	9726	6.0
6	10336	9769	5.8
7	10405	9800	6.2
8	10427	9853	5.8
9	10591	9896	7.0
10	10552	9943	6.1
평균	10349	9746	6.10

##### 4.2.2 코사인 곡선 수요

코사인 곡선 수요는 성수기인 1기간에서부터 수요 가 하락하여, 비수기인 7기간을 거쳐, 다시 성수기인 12기간 까지 수요가 증가하는 형태를 보이고 있다. 수요에 대하여 진폭 10단위씩 늘려가면서 수치 실험 을 수행하였다.

표2에서 볼 수 있듯이 발견적 기법을 적용한 목적 함수 값의 평균은 \$10,250, 표준 편차는 189 이었다. 최적해의 목적함수값의 평균은 \$9483이었다. 평균 오류 값은 약 8.1% 를 나타내었다.

##### 4.2.3 U 곡선 수요

수요가 U자 형태의 곡선을 이루는 경우에 대하여 수치 실험을 수행하였다. 이 문제는 컨테이너 수요 가 1기간에서 390대 였는데, 계속 수요가 줄어들어 7기간까지 90대로 줄어들었다가 다시 수요를 회복하여 12기간에는 320대의 수요로 증가하는 형태의 수요 구조를 보이고 있다. 수요에 대하여 진폭 10단위 씩 늘려가면서 수치 실험을 수행하였다.

1월부터 임대를 시작하는 경우 1~2월까지의 한 단 위 비용이 \$ 3,458로 가장 작으므로 이 기간 동안 390대의 컨테이너를 임대한다. 이때 2기간에서 70대 의 컨테이너 재고가 발생하지만, 한 단위 비용 측면 에서 재고를 보유하는 것이 비용 효율적이었다.

표 3에서 볼 수 있듯이 발견적 기법을 적용한 목 적함수 값의 평균은 \$8,770, 표준 편차는 973 이었다. 동일한 문제에 대해서 최적 해의 목적 값의 평균은 \$8,276, 표준편차는 882이었다. 평균 오류 값은 약 5.5% 를 나타내었다.

표 2-코사인 곡선 수요의 실험 비교

문제	발견적 기법	최적해	오차(%)
1	9923	9038	9.70
2	9981	9137	9.20
3	10092	9236	9.20
4	10186	9335	9.10

5	10260	9434	8.70
6	10334	9533	8.40
7	10416	9628	8.20
8	10377	9731	6.60
9	10415	9828	6.00
10	10517	9925	6.00
평균	10250	9483	8.10

#### 4.2.4 상승 곡선 수요

해운 시장 환경에서 계절적인 비교 수요와 함께 전체적인 수요가 늘어나는 추세인 경우가 존재할 것이다. 본 절에서는 사인 곡선의 형태를 이루며 상승 곡선을 갖는 수요에 대하여 진폭을 10단위씩 늘려가면서 수치 실험을 수행하였다.

표4에서 볼 수 있듯이 발견적 기법을 적용한 목적 함수 값의 평균은 \$11,850, 표준 편차는 234 이었다. 최적 해의 목적 값의 평균은 \$11,592, 표준편차는 124이었다. 평균 오류 값은 약 2.1% 를 나타내었다.

표 3-U 곡선 수요의 실험

문제	발견적 기법	최적해	오차(%)
1	6992	6882	1.5
2	7766	7256	7.0
3	8111	7579	3.9
4	8407	7852	7.0
5	8604	8124	5.9
6	8935	8253	8.2
7	9119	8679	5.0
8	9345	9007	3.7
9	10024	9340	7.3
10	10398	9784	6.2
평균	8770	8276	5.50

표 4- 상승 곡선 수요의 실험 비교

문제	발견적 기법	최적해	오차(%)
1	11540	11460	0.6
2	11601	11452	1.0
3	11488	11462	0.2

4	11699	11502	1.7
5	11970	11547	3.6
6	11945	11597	3.0
7	12040	11642	3.4
8	11958	11698	2.2
9	12086	11754	2.8
10	12177	11813	3.0
평균	11850	11593	2.10

#### 4.2.5 하향 곡선 수요

해운 시장 환경에서 계절적인 수요와 함께 전체적인 수요가 점점 줄어드는 추세가 존재할 것이다. 본 절에서는 사인 곡선의 형태를 이루며 하향곡선을 갖는 수요에 대하여 진폭을 10 단위씩 증가시키면서 수치 실험을 수행하였다.

표5에서 볼 수 있듯이 발견적 기법을 적용한 목적 함수 값의 평균은 \$14,083 이었다. 최적 해의 목적 함수 값의 평균은 \$13,791이었다. 평균 오류 값은 약 2.1% 를 나타내었다.

표 5-하향 곡선 수요의 실험 비교

문제	발견적 기법	최적해	오차(%)
1	14095	13607	3.5
2	13942	13648	2.1
3	13929	13689	1.7
4	13988	13730	1.8
5	14095	13771	2.4
6	14205	13812	2.8
7	14214	13851	2.6
8	14029	13892	0.9
9	14144	13933	1.5
10	14197	13976	1.6
평균	14084	13791	2.10

#### 4.2.6 평균 임대 기간 변화

사인 곡선의 형태와 비용을 가진 경우에 대하여, 계절적인 수요가 높을 때의 수요 폭의 수치를 10에서 280까지 증가하였을 때 평균 임대 기간이 어떻게 변화하는지에 대한 실험을 수행하였다.

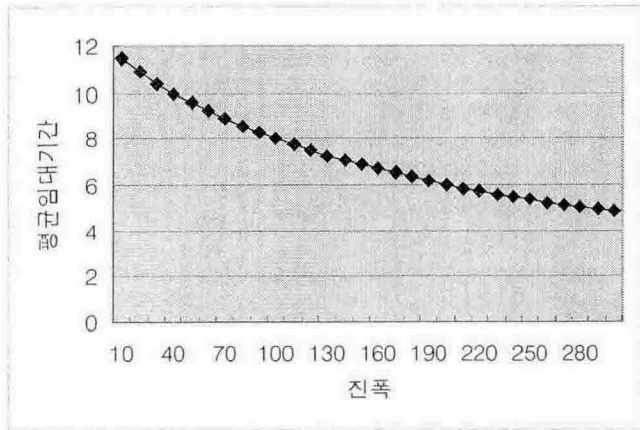


그림2- 수요 진폭 변화에 따른 평균 임대기간의 변화

계절적인 수요가 높은 경우에는 자사 컨테이너 보유하는 것보다 임대 컨테이너를 사용하여 필요한 기간에 공 컨테이너를 임대 받아 사용하는 것이 비용 측면에서 효율적이다.

### 5. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 컨테이너의 수요를 만족시키는 컨테이너 구매와 임대 계획을 문제를 다루었다. 선사에서 영업을 위해 필요로 하는 컨테이너의 수요 예측을 수행하였다. 공 컨테이너 임대 문제에 대하여 최소 비용 흐름 문제에 대한 네트워크 표현을 제안하였고, 아크와 관련된 용량 제약이 없다면 최소 비용 흐름 문제를 수송 문제로 전환할 수 있다는 것을 보였다. 간단한 발견적 임대 기법을 제시하였고, 다양한 수요 곡선을 갖는 경우에 대하여 실험을 수행 및 분석을 하였다. 더 나아가 Lost sales를 허용하는 경우에 대하여 공식화하였다.

확률적인 수요의 경우에 대한 공 컨테이너 임대 문제가 추후 연구 과제가 될 것이다. 다양한 경우에 있어서 수학적 분석뿐만 아니라 실제적인 경우의 집약적인 수치 실험에 의하여 원리들을 발견할 수 있을 것이다.

### Acknowledgment

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구사업 (과제번호: R01-2003-000-10077-0)의 지원에 의한 것입니다.

### 참고문헌

[1] Abrache, J., Crainic, T. G., Gendreau, M. (2001), A New Decomposition Algorithm for the Deterministic Dynamic Allocation of Empty Containers, <http://www.crt.umontreal.ca/~theo/articles.html>.

[2] Ahuja, R. K., Magnanti, T. L., and Orlin, J. B. (1993), *Network flows*, Prentice-hall, 304-305.

[3] Cheung, R. K., Chen, C. Y. (1998), A Two-Stage Stochastic Network Model and Solution Methods for the Dynamic Empty Container Allocation Problem, *Transportation Science*, 32(2), 142-162.

[4] Crainic, T. G., Dejax, P., and Delorme, L. (1989), Models for Multimode Multicommodity Location Problems with Interdepot Balancing Requirements, *Annals of Operations Research*, 18, 279-302.

[5] Crainic, T. G. and Gendreau, M. (1990), *Modelling the Container Fleet management Problem using a Stochastic Dynamic Approach*, CRT-685, Centre de recherche sur les transports.

[6] Crainic, T. G., Gendreau, M., Soriano, P., Toulouse M. (1993a), A Tabu Search Procedure for Multicommodity Location/Allocation with Balancing Requirements, *Annals of Operations research*, 41, 359-383.

[7] Crainic, T. G., Gendreau, M., and Dejax, P. (1993b), Dynamic and Stochastic Models for the Allocation of Empty Containers, *Operations Research*, 41(1), 105-125.

[8] Crainic, T. G. and Delorme, L. (1993c), Dual-Ascent Procedures for Multicommodity Location-Allocation Problems with Balancing Requirement, *Transportation Science*, 27, 90-101.

[9] Crainic, T. G. and Laporte, G. (1997), Planning Models for Freight Transportation, *European Journal of Operational Research* 97, 409-438.

[10] Dejax, P. J. and Crainic, T. G. (1987), A Review of Empty Flows and Fleet Management Models on Freight Transportation, *Transportation Science*, 21, 227-247.

[11] Du, Y. and Hall, R. (1997), Fleet Sizing and Empty Equipment Redistribution for Center-Terminal Transportation Networks, *Management Science*, 43(2), 145-157.

[12] Gedron, B. and Crainic, T. G. (1997), A Parallel Branch-and Bound Algorithm for Multi-commodity Location with Balancing Requirements, *Computers & Operations Research*, 24(9), 829-847.

[13] Hall, R. W. (1999), Stochastic Freight Flow Patterns: Implications for Fleet Optimization, *Transportation Research A*, 33, 449-465.

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

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