

다종 공컨테이너 운영 관리를 위한 모형 개발

하 원 익*

Models for the Multi-Type Empty Container Control

W. I. Ha

Abstract	Ⅲ. 다종 모형
I. 개요	Ⅳ. 결론
Ⅱ. 선행연구조사	

Abstract

This paper deals with the development of the generalized model to assist the empty container repositioning and leasing problems for liner shipping companies. For this, the existing models have been reviewed. And then a mathematical model has been proposed to handle the specific characteristics of the empty container management; the dynamic characteristics, the multi echelon of the transportation and distribution systems, and the substitutions among various container types. In particular, this paper puts an emphasis on the modeling framework for considering substitutions among various container types.

I. 개요

해상 컨테이너 운송 분야에서 공컨테이너 관리 문제에 관한 연구들은 크게 전략적 또는 정책적 측면의 연구들과 운영 측면의 연구로 구분할 수 있다. 전자의 경우는 컨테이너 정기선사가 보유해야 하는 컨테이너 적정 보유량 산정에 관한 연구(박남규, 1986; 福田幹也, 1978)와 공컨테이너 수급 불균형 문제를 다루는 연구(Lai et al., 1995;

박진수, 1990)들이 있고, 운영 측면에서의 연구들은 컨테이너 운송 및 배송시스템에서 필연적으로 발생하게 되는 공컨테이너의 과부족 현상에 효과적으로 대응하기 위한 것으로 공컨테이너가 부족한 지역에서의 화물 수송 수요를 충족하기 위해 남는 지역에서 운반해오거나 또는 임대하는 재배치 및 임대 문제에 관한 것이다. 해상 컨테이너 운송 분야에서 운영적 관점에서 공컨테이너 관리 문제를 다룬 연구로는 오양택(1996)과 Florez(1986)

* 한국해양대학교 부설 물류연구센터 연구원

의 연구 등이 있으나, 이러한 연구들도 대부분 공컨테이너 운영 관리의 독특한 특성인 동적 특성, 수요와 공급의 불확실성, 컨테이너 종류별 대체 가능성 등을 고려하지 않았으며 또한, 분석 대상을 해상 구간으로 제한하여 선사에서 실용적으로 사용하기에는 많은 한계가 있다.

해상 컨테이너 화물운송업체의 공컨테이너 운영 관리와 관련하여 최근에 발표된 연구로는 하원익·남기찬(1999)의 연구가 있다. 이 연구에서는 공컨테이너 운영 관리의 동적 특성과 해상과 내륙 배송시스템을 하나로 통합할 수 있는 네트워크 수리모형을 개발하였으며, 장래 불확실한 수요와 공급의 영향을 적절히 반영할 수 있는 방법론을 제시하였다. 이 연구는 해상 컨테이너 운송업체의 공컨테이너 운영 및 관리 현황을 체계적으로 분석하여 공컨테이너 운영 관리에서 발생하는 여러 가지 독특한 운영 특성을 적절히 반영하였으나, 모형 수립시 단일 종류의 컨테이너만을 고려하여 여러 가지 종류의 컨테이너들 사이의 대체 가능성을 고려하지 않았다.

본 논문은 공컨테이너 재배치 및 임대를 위한 네트워크 수리모형을 다중모형으로 확장하고 여러 종류의 컨테이너들 사이의 대체 가능성을 허용하는 보다 일반화된 공컨테이너 운영 관리 모형을 제안한다. 예를 들면, 특정 상황하에서는 선사 또는 화주는 20 피트 컨테이너 두 개 대신에 40 피트 컨테이너 한 개로 대체하거나 또는 40 피트 컨테이너 한 개를 20 피트 컨테이너 두 개로 대체하는 경우가 있다. 따라서 여러 종류의 컨테이너 사이의 대체 가능성을 허용하는 다중모형으로의 확장은 독특한 컨테이너 운영 특성을 적절히 반영하여 화주의 공컨테이너 수요를 현실적으로 만족할 수 있기 때문에 선사의 공컨테이너 운영 관리 업무를 다루는 모형의 유연성을 높이는 중요한 요소이다.

II. 선행연구조사

해상 컨테이너 운송 분야에서 공컨테이너 관리를 대상으로 한 연구들은 크게 전략적, 기술적 측

면의 연구(福田幹也, 1978; Lai et al., 1995; 박진수, 1990)와 운영적 측면의 연구로 나누어 볼 수 있다. 이 장에서는 본 연구의 주제인 공컨테이너 재배치 및 임대에 대한 선행연구들을 조사하여 비교한다. 해상 컨테이너 운송 분야에서 공컨테이너 재배치 및 임대와 관련된 연구들을 살펴보면, Gao(1993)는 공컨테이너 재배치가 효율적으로 수행될 경우 컨테이너 정기 선사가 보유해야 하는 공컨테이너 적정 보유량을 줄일 수 있다는 점에 착안하여 임대 컨테이너를 줄임으로써 자본비와 운영비를 최소화하는 방안을 제시하였다. 이 연구에서는 먼저 선박이 기항하는 항구의 항차별 공컨테이너의 과부족을 추정 한 뒤 이러한 결과를 바탕으로 공컨테이너를 재배치하는 비용최소화 모형을 개발하였다. 그러나 이 모형은 일부 제약이나 가정들이 지나치게 비현실적이어서 실용적인 모형으로서는 한계가 있다.

해상 컨테이너 운송 시스템에서 공컨테이너 관리 문제를 운영적 관점에서 다루는 수리모형으로는 오양택(1996)과 Florez(1986)의 연구가 있다. Florez는 다중 수송 수단을 이용하는 컨테이너 재배치 문제가 철도 차량 배송 문제와 많은 공통점이 있다는 사실에 착안하여 철도 분야의 연구를 바탕으로 해상운송분야에서 공컨테이너 재배치와 임대를 최적화하기 위한 동적환적 네트워크모형을 개발하였다. 이 모형은 동적환적 네트워크 구축을 위한 자료 수집에 많은 노력이 들고, 모든 아크와 관련된 직간접 비용과 수익은 선형화 기법(linearization techniques)을 적용하여 단위 아크의 이익을 구하였기 때문에 실제 컨테이너를 운송하여 얻을 수 있는 이익과는 차이가 있다. 또한 이 연구는 공컨테이너의 수요와 공급의 불확실성을 고려하지 않았으며, 단순히 해상구간만을 고려하였고 내륙구간은 고려하지 않았다. 그리고 오양택은 운송 비용, 임대 비용, 그리고 재고 비용의 합을 최소로 하는 항만간 공컨테이너 이동량과 임대량을 구하는 수리모형을 개발하였다. 이 연구에서는 개발된 모형을 다중모형으로 확장하였으나, 여러 종류의 컨테이너들 사이의 대체 가능성을 고려하지 않았다.

마지막으로 하원익·남기찬(1999)은 해상 컨테이너 운송업체의 공컨테이너 재배치 및 임대 방안

을 제공하기 위한 모형을 개발하기 위해 공컨테이너 관리 업무와 운영 특성을 체계적으로 분석하여 의사결정요소를 추출하고, 그 구조를 정의하였다. 이를 바탕으로 공컨테이너 운영 관리의 동적 특성을 반영하면서 해상과 내륙 배송시스템을 하나로 통합할 수 있는 네트워크 수리 모형을 개발하고, 불확실한 장래 수요와 공급의 영향을 설명하기 위해서 수요와 공급의 변화에 대한 여러 가지 대안을 작성하고 대안 별로 최적화 모형을 적용하여 얻어지는 재고 수준과 각 데포에서 유지해야 하는 적정 재고 수준과의 차이에 대해 추가적인 비용을 정의하여 총비용 관점에서 공컨테이너 운영 관리 비용을 최소화 하는 공컨테이너 재배치 및 임대 방안을 도출하는 혼합 방법론을 제시하였다. 이 연구는 공컨테이너 운영 관리의 동적 특성, 배송시스템의 특성, 그리고 불확실성 같은 독특한 특성들을 적절히 반영하는 현실성 있는 모형을 제시하였지만, 모형 수립시 컨테이너 종류를 단일 종류로 가정하여 실제 적용할 때는 40피트 컨테이너를 단순히 20피트 컨테이너로 환산하여야 하고 또한, 컨테이너의 대체 가능성을 고려하지 않았다.

1. 하원의, 남기찬의 모형(1999)

이 절에서는 여러 종류의 컨테이너들 사이의 대체를 허용하는 다중모형을 개발하는데 있어서 기본이 되는 하원의·남기찬(1999)이 개발한 모형을 소개한다.

먼저, 모형 수립시 사용한 기호는 다음과 같다.

- T : 계획 기간의 길이; $t = 1, 2, \dots, T$
- ID : 내륙 데포의 집합
- PD : 항만 데포의 집합
- X_j^t : 기간 t 에 데포 j 의 공컨테이너 수요량;
 $j \in ID \cup PD, t = 1, 2, \dots, T$
- Y_j^t : 기간 t 에 데포 j 의 공컨테이너 공급량;
 $j \in ID \cup PD, t = 1, 2, \dots, T$
- U_j^t : 파손이나 손실 등으로 기간 t 에 데포 j 에서 사용할 수 없는 공컨테이너 수량;
 $j \in ID \cup PD, t = 1, 2, \dots, T$

- V_j^t : 신규 구입 또는 수리 완료 후, 기간 t 에 데포 k 에서 사용할 수 있는 공컨테이너 수량;
 $j \in ID \cup PD, t = 1, 2, \dots, T$
- Z_j^t : 계획 범위 시작 전에 데포 j 로 보내져서 기간 t 에 도착하는 공컨테이너의 수량;
 $j \in ID \cup PD, t = 1, 2, \dots, T$
- c_{jk}^t : 기간 t 에 데포 j 에서 데포 k 까지 운송하는 단위운송비용; $j \in ID \cup PD, k \in ID \cup PD, t = 1, 2, \dots, T$
- c_j^t : 기간 t 에 데포 j 에서 컨테이너를 보관하기 위한 단위보관비용;
 $j \in ID \cup PD, t = 1, 2, \dots, T$
- \bar{c}_j^t : 기간 t 에 데포 j 에서 컨테이너를 임대하는 단위임대요금;
 $j \in ID \cup PD, t = 1, 2, \dots, T$
- \underline{c}_j^t : 기간 t 에 데포 j 에서 컨테이너를 임대하는 고정임대비용(On-hire & off-hire cost);
 $j \in ID \cup PD, t = 1, 2, \dots, T$
- \tilde{c}_j^t : 기간 t 에 항구 j 에서 공컨테이너의 임대여부를 결정짓기 위한 단위 페널티;
 $j \in ID \cup PD, t = 1, 2, \dots, T$

두 데포간 이동에 소요되는 운송시간을 τ_{jk} 라고 하면, 확정적 모형의 결정변수들은 다음과 같다.

- v_{ji}^t : 기간 t 에 데포 j 에서 데포 i 로 재배치한 공컨테이너 수량, 공컨테이너는 기간 $t + \tau_{ji}$ 에 도착한다;
 $j \in ID \cup PD, k \in ID \cup PD, t = 1, 2, \dots, T$
- w_j^t : 기간 t 의 끝에 데포 j 에 남아있는 공컨테이너 재고량; $j \in ID \cup PD, t = 1, 2, \dots, T$
- b_{jk}^t : 기간 t 의 데포 i 의 수요를 만족하기 위해 기간 t 에 데포 j 에서 단기 임대한 컨테이너 수량;
 $j \in ID \cup PD, k \in ID \cup PD, t = 1, 2, \dots, T$
- δ_j^t : 기간 t 에 데포 j 에서 만족하지 못한 공컨테

이너의 수요;

$$j \in ID \cup PD, t = 1, 2, \dots, T$$

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 j의 출항 기간 집합, $j \in PD$

AD_j : 데포 j의 인접 데포 집합; $j \in ID \cup PD$,
 $AD_j \subset ID \cup PD$

AP_j : 데포 j의 인접 항만 데포; $j \in ID \cup PD$,
 $AP_j \in PD$

즉, 동일한 인접데포 집합에 속하는 데포들 사이의 이동은 선박운항일정과는 무관하다. 그러나 인접 데포집합에 속하지 않는 데포들 사이의 공컨테이너 이동은 출발기간이 출발데포의 인접 항만데포의 선박운항일정에 종속적이다. 따라서 이러한 제약을 나타내기 위해 추가로 다음과 같은 기호를 정의한다.

DD'_t : 시간 t'의 데포 i의 수요를 만족하기 위해
기간 t에 데포 j에서 출발하여 기간 $t + \tau_{ji}$
에 공컨테이너가 도착하는 모든 데포 i의
집합.

$$j \in ID \text{인 경우}$$

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

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

$$j \in PD \text{인 경우}$$

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

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

이면, 데포 i는 DD'_t 에 속한다.

$$j \in ID \cup PD, t = 1, 2, \dots, T;$$

단, $k \in AP_j$

SD'_t : 시간 t의 데포 i의 수요를 만족하기 위해
컨테이너를 공급하는 모든 데포 j의 집합
으로 기간 t에 데포 j를 출발하여 기간
 $t + \tau_{ji}$ 에 데포 i에 도착한다.

$$i \in ID \text{인 경우}$$

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

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

$$i \in PD \text{인 경우}$$

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

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

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

이면, 데포 j는 SD'_t 에 속한다.

$$i \in ID \cup PD, t = 1, 2, \dots, T; \text{ 단, } k \in AP_j$$

데포 j의 인접 항만데포 AP_j 를 구할 때 데포 j가 $j \in PD$ 이면, AP_j 는 j 자신이 된다. 그러면, 최적화 모형은 재고균형 방정식과 결정변수의 비음 제약하에서 재배치 및 임대비용을 최소화하는 것으로 다음과 같다.

$$Min \quad t = \sum_{t=1,2,\dots,T} \sum_{j \in ID \cup PD} \left\{ \sum_{i \in DD'_t} (c_{ji}' v_{ji}' + (\tau_{ji}' \bar{c}_j + \underline{c}_j) b_{ji}') \right. \\ \left. + c_j' w_j' + \bar{c}_j' \delta_j' \right\}$$

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

$$\text{for all } k \in ID \cup PD \quad t = 1, 2, \dots, T,$$

III. 다종 모형

공컨테이너 운영 관리 문제를 다른 장비나 차량의 할당문제와 구별짓는 가장 중요한 특성 중의 하나는 여러 종류의 컨테이너들 사이의 대체가 허용되는 것이다. 실제로 컨테이너의 수요와 공급은 종류별로 관리하고, 화주의 수요에 대한 공컨테이너 공급은 특정 상황하에서 다른 종류의 컨테이너로 대체가 허용되는 경우가 있기 때문에 해상 컨테이너 운송업체의 공컨테이너 운영 관리를 위한 모형은 이러한 특성을 적절히 반영할 수 있어야 한다.

1. 다종 모형 문제

컨테이너 종류는 크기로는 2가지(20ft와 40ft), 형태로는 10여 가지(Open Top, 냉동 컨테이너, 탱

크 컨테이너 등) 이상으로 다양하다. 이와 같은 다양한 컨테이너 종류는 컨테이너 운송을 다른 수단을 이용한 운송 방법과 구별해 주는 중요한 요소 중의 하나이고 또한, 여러 가지 종류의 컨테이너 대체 가능성은 컨테이너 관리 문제의 모델링을 어렵고 복잡하게 하는 요인이 된다. 그러나 해상 운송업체의 경우 컨테이너의 수요와 공급을 컨테이너 종류별로 관리하고 또한 화주의 수요 특성에 따라 특정 컨테이너들 간에는 상호 대체가 허용되기 때문에 공컨테이너 운영 관리 특성을 현실적으로 반영하기 위해서는 여러 가지 종류의 컨테이너 대체를 허용하는 다중모형으로의 확장이 필요하다. 이 장에서는 제2장에서 소개한 단일 종류 네트워크 최적화모형을 이용하여 컨테이너간의 대체를 허용하는 다중모형으로 확장을 위한 모델링 방법을 제시한다.

다중 모형에서 사용하는 기호는 기본적으로 제2장에서 소개한 동적 네트워크 모형과 같으며 다만, 컨테이너 종류를 나타내는 첨자가 늘어날 뿐이다. 즉, P 를 $p \in P$ 인 컨테이너 종류의 집합이라 하면, 앞 장에서 설명한 기호와 결정변수들의 시간 인덱스 t 앞에 컨테이너 종류를 나타내는 인덱스 p 를 추가하여 모든 제약식과 목적함수를 나타내면 비교적 간단하게 다중 문제로 일반화할 수 있다. 예를 들면, 데포 j 의 공컨테이너 수요는 다음과 같다.

$$X_j^p : \text{늦어도 시간 } t \text{까지 } p \text{ 종류의 공컨테이너를} \\ \text{공급받아야 하는 데포 } j \text{의 수요.} \\ j \in ID \cup PD, p \in P, t = 1, 2, \dots, T$$

여기서는 앞에서 사용한 기호와 결정변수들을 다시 정의하지 않고 단지, 대체 가능성을 허용하는 다중 모형으로 확장함으로써 변화하는 요소만을 설명한다.

먼저, 해상 컨테이너 운송업체의 운송 및 배송시스템에서 실제로 직면하게 되는 공컨테이너의 대체와 관련된 의사결정문제를 살펴보면, 화물 운송을 위해 필요한 공컨테이너의 운반을 요청할 때 화주는 필요한 컨테이너의 수량, 종류 및 운반 장소를 선사에 통보하게 된다. 공컨테이너의 운송 요청을 접수한 선사의 담당자는 보관 데포에 화주가 요

청한 종류의 공컨테이너 수량을 확인하고 화주가 공컨테이너를 필요로 하는 시점에 원하는 장소로 운반하게 된다. 그러나, 보관 데포에 화주가 요청한 종류의 공컨테이너가 부족한 경우 담당자는 화주가 요청한 종류의 컨테이너를 임대할 것인지 또는 다른 종류의 컨테이너를 공급할 것인지 등과 같은 추가적인 의사결정문제에 직면하게 된다. 물론 화주가 다른 종류의 컨테이너로 대체하여 공급하는 것을 허용할 경우에 가능하지만 이러한 대체와 관련된 의사결정은 대체 및 임대 비용뿐만 아니라 전체 배송시스템에서의 공컨테이너 수요와 공급 등을 고려해야 하는 아주 복잡한 의사결정문제이다.

이와 같은 공컨테이너 대체는 배송 네트워크의 노드 즉, 데포에서만 일어나는 것으로, 이러한 대체 과정을 적절히 모델링하기 위해서 먼저 모든 데포에 공컨테이너의 대체를 가능하게 하는 가상의 대체 노드를 추가함으로써 구체화될 수 있다. 다음으로 데포에서 실제 재고로 관리되는 p 종류의 컨테이너와 화주의 공컨테이너 수요를 만족하기 위해 사용되는 p 종류의 컨테이너를 구별할 필요가 있다. 본 논문에서 전자는 단위 컨테이너라 정의하고, 데포에서 대체 규칙을 적용한 뒤 실제 화주의 공컨테이너 수요를 만족시키기 위해 할당되는 컨테이너는 동등 컨테이너라고 정의한다. 즉, 배송시스템에서 공컨테이너의 재고, 이동 및 화주로부터 데포로의 공컨테이너 공급 등은 단위 컨테이너로 관리하는 반면에 화주의 수요는 동등 컨테이너로 충족시키는 것이다.

각 데포와 그 데포에 해당하는 가상의 대체 데포를 연결하는 링크에서는 실제 공컨테이너 이동은 발생하지 않는다. 실제 공컨테이너의 이동은 가상의 대체 데포와 다른 데포들을 연결하는 링크에서 발생하고 이러한 공컨테이너 이동은 동등 컨테이너의 이동으로 간주해야 한다. 그러나, 화물 운송을 완료하고 수하인으로부터 데포로 반송되어오는 공컨테이너들은 실제 단위 컨테이너의 이동으로 고려할 수 있다. 이러한 가정은 화물 운송이 완료되어 수하인이 공컨테이너를 반환할 때 담당자는 회수되는 컨테이너의 종류를 정확히 알 수 있기 때문이다. 즉, 공컨테이너가 데포로 반입될 때까지는

실제 단위 컨테이너로 간주하고 데포에서 반출될 때 동등 컨테이너로 변환되어 이동하게 된다.

데포 j에 해당하는 가상의 대체 데포를 j'라고 하면 화주의 공컨테이너 수요를 충족하기 위한 할당 변수는 다음과 같다. 즉,

$$v_{ji}^{pt} : \text{기간 } t \text{에 가상의 대체 데포 } j' \text{에서 데포 } i \text{로 할당된 } p \text{ 종류의 동등 컨테이너의 수량, 컨테이너는 기간 } t' = t + \tau_{ji} \text{에 도착한다; } j \in ID \cup PD, \quad i \in ID \cup PD, \quad p \in P, \quad t = 1, 2, \dots, T$$

이때 새로운 결정 변수는 다음과 같다.

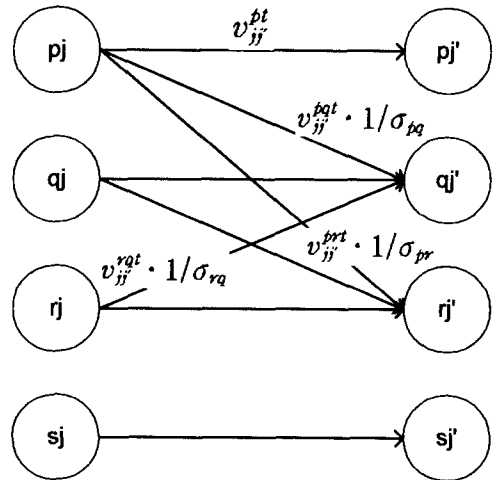
$$v_{jj}^{pt} : \text{기간 } t \text{에 데포 } j \text{에 있는 } p \text{ 종류의 컨테이너로서 다른 데포의 동일한 } p \text{ 종류의 컨테이너 수요를 충족시키기 위한 단위 컨테이너의 수량, 기간 } t \text{에 } p \text{ 종류의 동등 컨테이너로 할당되어진다; } j \in ID \cup PD, \quad p \in P, \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$$v_{jj}^{prt} : \text{기간 } t \text{에 데포 } j \text{에서 } r \text{ 종류의 컨테이너로 대체되는 } p \text{ 종류의 컨테이너의 수량, } j \in ID \cup PD, \quad p \in P, \quad r \in P, \quad t = 1, 2, \dots, T$$

여러 가지 종류의 컨테이너들 사이의 대체 메카니즘을 효과적으로 반영하기 위해서는 각각의 컨테이너 종류 쌍에 대한 대체 계수를 정의해야 한다. p 종류 컨테이너와 r 종류 컨테이너 사이에 대체가 허용되는 경우 대체 계수 σ_{pr} 은 r 종류 컨테이너 한 개를 대체하기 위해 필요한 p 종류의 컨테

이너 수를 나타낸다. 따라서, 변수 v_{jj}^{prt} 는 대체 수량을 나타내는 것으로 대체 계수 σ_{pr} 에 의해 결정된다.

선사의 공컨테이너 운영 업무에서 발생할 수 있는 대체 규칙과 적용 과정을 살펴보면 다음과 같다. [그림 1]에서 데포 j와 가상의 대체 데포 j'를 연결하는 링크들은 몇 가지 가능한 대체 사례를 보여 주고 있다. p 종류 컨테이너는 q와 r 종류 컨테이너 수요를 대체할 수는 있지만, 다른 종류의 컨테이너가 p 종류 컨테이너 수요는 대체할 수 없다는 것을 보여 주고 있다. q와 r 종류 컨테이너 사이에는 양방향의 대체가 허용되는 경우이고, s 종류 컨테이너는 다른 종류의 컨테이너들과 전혀 대



[그림 1] 기간 t 데포 j에서의 공컨테이너 대체 사례

[표 1] 데포에서 재고 관리 및 수요 할당

	pj'	qj'	rj'	sj'	재고
pj	v_{jj}^{pt}	v_{jj}^{pqt}/σ_{pq}	v_{jj}^{prt}/σ_{pr}	-	$v_{jj}^{pt} + v_{jj}^{pqt}/\sigma_{pq} + v_{jj}^{prt}/\sigma_{pr}$
qj	-	v_{jj}^{qt}	v_{jj}^{qrt}/σ_{qr}	-	$v_{jj}^{qt} + v_{jj}^{qrt}/\sigma_{qr}$
rj	-	v_{jj}^{rqt}/σ_{rq}	v_{jj}^{rt}	-	$v_{jj}^{rqt}/\sigma_{rq} + v_{jj}^{rt}$
sj	-	-	-	v_{jj}^{st}	v_{jj}^{st}
할당	v_{jj}^{pt}	$v_{jj}^{pqt}/\sigma_{pq} + v_{jj}^{qt} + v_{jj}^{rqt}/\sigma_{rq}$	$v_{jj}^{prt}/\sigma_{pr} + v_{jj}^{qrt}/\sigma_{qr} + v_{jj}^{rt}$	v_{jj}^{st}	

체가 허용되지 않는 경우를 보여 주고 있다.

한편, [표 1]은 대체 규칙을 적용하였을 경우 데포에서 컨테이너 종류별 재고 관리 과정과 수요를 충족하기 위한 할당 과정을 보여 준다. 즉, [표 1]의 최우측 열은 데포 j에서 컨테이너 종류별 재고 함수(단위 컨테이너)를, 최하단 행은 데포 j'에서 컨테이너 종류별 수요를 충족하기 위한 할당 함수(동등 컨테이너)를 나타낸다.

2. 모형 수립

제약식은 단일 종류 네트워크 최적화 모형의 제약에 컨테이너 종류를 나타내는 인덱스 p를 추가하는 것을 제외하고는 거의 수정되지 않는다. 그러나, 재고 균형 방정식은 데포에서 여러 가지 종류의 컨테이너 사이의 대체를 설명하기 위해 수정되어야 한다.

$$w_k^t = w_k^{t-1} + \sum_{i \leq t} \sum_{j \in SD_i^t} \sum_{\tau_{jk} = t-i} v_{jk}^t + \sum_{i \in DD_i^t} b_{ki}^t - v_{kk}^t - \sum_{r \in P} v_{kr}^t + Z_k^t - U_k^t + V_k^t - X_k^t + Y_k^t + \delta_k^t \dots (6)$$

for all $k \in ID \cup PD, p \in P, r \in P,$

$t = 1, 2, \dots, T$

$$v_{kk}^t + \sum_{r \in P} 1/\sigma_r \cdot v_{kr}^t - \sum_{i \in DD_i^t} v_{ki}^t = 0$$

for all $k \in ID \cup PD, p \in P, r \in P, \dots (7)$

$t = 1, 2, \dots, T$

이동 용량은 컨테이너 종류별로 취합하여 TEU로 환산한 총수량에 의해 제한된다. 적컨테이너의 이동일 경우 냉동 컨테이너와 같은 특수한 컨테이너들은 운반에 특수한 설비가 필요하기 때문에 컨테이너 종류별로 이동 용량 제약식을 만들어야 하지만, 본 연구에서는 공컨테이너 이동을 다루기 때문에 이동 용량은 단순히 항차별 선박의 여유 적재 용량(free space)에 의해 제약받는다.

$$0 \leq \sum_{p \in P} v_{ji}^t \leq w_{ji}^t$$

for all $j \in ID \cup PD, i \in ID \cup PD, \dots (8)$

$t = 1, 2, \dots, T$

저장 용량의 경우도 컨테이너 종류별로 취합하여 TEU로 환산한 총수량에 의해 제한된다.

$$0 \leq \sum_{p \in P} w_j^t \leq w_{j'}^t \dots (9)$$

for all $j \in ID \cup PD, t = 1, 2, \dots, T$

한편, 특정 기간에 데포에서 임대 가능한 컨테이너 수량은 컨테이너 종류별로 다르다. 따라서 임대 용량에 대한 제약은 다음과 같다.

$$0 \leq \sum_{i \in ID \cup PD} b_{ji}^t \leq ub_j^t \dots (10)$$

for all $j \in ID \cup PD, p \in P, t = 1, 2, \dots, T$

단일 종류 모형에서 정의한 비용들은 대부분 다중모형으로 바로 일반화되고 컨테이너 대체시 발생하는 대체 비용이 추가된다.

c_k^{pr} : 기간 t에 데포 k에서 p 종류의 컨테이너를 r 종류의 컨테이너로 대체하는 비용;
 $j \in ID \cup PD, p \in P, r \in P, t = 1, 2, \dots, T$

다중 모형은 식(6)에서 식(10)과 결정변수의 비음제약하에 공컨테이너 운영 관리를 위한 보관비용, 운송비용, 임대비용, 대체비용 그리고 수요를 만족하지 못할 경우의 손실비용의 합을 최소화하는 것이다.

$$\sum_{t=1,2,\dots,T} \sum_{p \in P} \sum_{j \in ID \cup PD} \left\{ \sum_{i \in DD_i^t} (c_{ji}^t v_{ji}^t + (\tau_{ji} \bar{c}_{ji}^t + \underline{c}_{ji}^t) b_{ji}^t) + \sum_{r \in P} c_{jr}^{pr} v_{jr}^t + \dots (11) \right. \\ \left. c_j^t w_j^t + \bar{c}_j^t \delta_j^t \right\}$$

한편, 본 연구에서는 장래 수요와 공급이 확정적인 전제하에서 여러 종류의 컨테이너 사이의 대체 가능성을 허용하는 다중모형을 제시하였지만, 하원익·남기찬 연구(1999)에서 제시한 방법론을 본 연구의 다중모형에 적용한다면 현실적인 제약하에서 수요와 공급의 불확실성을 적절히 반영할 수 있을 것이다.

IV. 결론

본 논문은 해상 컨테이너 운송업체의 공컨테이

너 운영 관리 현황과 관련된 선행 연구들에 대해 분석하여 정리하였으며, 이를 바탕으로 여러 가지 종류의 컨테이너들 사이의 대체 가능성을 고려하는 다중모형으로 확장하여 선사들의 공컨테이너 운영 관리를 위한 일반화된 모형을 제시하였다.

제안한 방법을 실제 업무에 적용하는 것과 관련하여 제기되는 몇 가지 문제들을 살펴본다. 첫째, 모델링 관점에서 제시한 모형은 기존의 동적 네트워크 최적화 모형에서 고려하지 않았던 대체 가능성을 설명할 수 있는 일반화된 모형으로 확장하였지만, 실제 화주들의 개별 수요와 공급 행태는 모형에서 고려하지 않았다. 현실적으로 선사의 공컨테이너 운영관리는 항만 또는 지역 레벨의 관리를 수행하고 있다. 만약 실제 화주들의 수요와 공급 특성을 포함하기 위해서는 화주들을 소지역으로 집단화하면 본 연구에서 제시한 모형을 확장하여 용이하게 사용할 수 있다. 둘째, 적용 측면에서 제시한 모형을 실제 선사의 운영 업무에 적용할 때는 컨테이너 종류와 대체가 가능한 쌍에 대해 세부적인 정의가 필요하고 또한 공컨테이너의 수요도 대체가 가능한 수요와 불가능한 수요를 구분해야 한다. 다음으로 컨테이너 종류별 수요와 공급을 예측하기 위한 자료들을 효과적으로 수집하고 관리하기 위한 정보시스템의 존재가 선행되어야 한다. 본 연구에서 제안한 방법론은 선사의 정보시스템과 연계하여 사용할 경우 공컨테이너 운영 관리를 위한 의사결정 지원시스템으로 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

마지막으로 향후 연구 과제를 살펴보면, 제시한 동적 네트워크 최적화 모형은 최적화 모형은 T 기간의 계획기간을 대상으로 하는 반면, 실제 선사의 업무는 훨씬 긴 기간 동안 계속된다. 실제 무한히 계속되는 것을 나타내기 위해 모형을 적용할 때는 계획기간 종료로 인한 왜곡현상(distortion)이 발생하게 되는데, 이러한 왜곡 현상을 최소화하기 위해서는 계획기간의 길이와 종료조건에 대한 연구가 필요하다. 다음으로 공컨테이너 수요와 공급을 신뢰성있게 예측하는 것은 최적화 모형을 성공적으로 구현하기 위한 아주 중요한 요소이다. 따라서 수요와 공급에 영향을 미치는 다양한 요소와 특성

에 대한 분석과 병행하여 예측의 신뢰성을 높일 수 있는 예측 방법에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

- 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) 하원익, 남기찬(1999), "공컨테이너 운영 관리를 위한 모형 개발", 한국항해학회지, 제23권 제2호, pp. 11-22
- 4) 오양택(1996), "공컨테이너의 효율적인 관리를 위한 계량적 분석, 한국해양대학교, 석사학위논문.
- 5) Lai, K. K, Kokin Lam and Chan, W. K.(1995), "Shipping Container Logistics and Allocation", Journal of Operational Research Society, Vol. 46, pp. 678-697.
- 6) Humberto, Florez(1986), "Empty-Container Repositioning and Leasing : An Optimization Model", Ph. D. Dissertation, Polytechnic Institute of New York.
- 7) Cuimet, G.(1972), Empty Freight Car Distribution. M.Sc. Thesis. Queens University, Canada.
- 8) Jordan, W.(1982), "The Impact of Uncertain Demand and Supply on Empty Rail Car Distribution", Ph. D. Dissertation. Cornell University. Ithaca. NY.
- 9) Gao, Q.(1993), "An Operational Approach for Container Control in Liner Shipping", Logistics and Transportation Review, Vol. 30, No. 3, pp.267-282.
- 10) Crainic, T. G. M. Gendreau and P. Dejax(1993), "Dynamic and Stochastic Models for the Allocation of Empty Containers", Operations Research, Vol. 41, No.1. pp. 102-126.