

운송 효율을 고려한 컨테이너 차량 운영계획 수립

An Analytical Approach for Operating Container Vehicles Considering Transportation Tariff

신재영^{1)*}·고창성²⁾·정기호³⁾·양천석⁴⁾·하태영¹⁾·박성찬²⁾

^{1)*} 한국해양대학교 물류시스템공학과

²⁾ 경성대학교 산업공학과

³⁾ 경성대학교 경영정보학과

⁴⁾ 대구산업정보대학 전자계산학과

Abstract

국내 대부분의 컨테이너 운송업체에서 컨테이너 운송을 담당하는 차량의 형태는 자차, 위탁차와 용차의 세 가지로 분류된다. 자차와 위탁차는 차량 운영은 동일한 명령 체계를 따르나, 위탁차의 경우는 실제 해당 기업과 개별 계약을 맺어, 각 차량이 명령을 수행한 물량에 따라 변동되는 수익을 얻게 된다. 용차의 경우는 수주 물량을 별도로 이들 업체에 할당시키며, 차량 운영 체제도 별도로 운영되게 된다. 따라서, 본 연구에서는 국내 운송업체에서 실제 운영하고 있는 세 가지 타입의 차량을 어떻게 운영하는 것이 가장 운송업체에 이익을 가져다 줄 것인가를 목표로 컨테이너 운송 효율의 특성을 반영한 배차계획을 수립하는 접근방법을 제시한다. 이를 위해 차량 운영 계획에 대한 수리적 모형을 구축하며, 이를 해결하는 탐색적 해법을 제시하도록 한다.

1. 서론

최근 무역의 증가와 기업의 국제화 추진이 급속히 이루어지면서 국제물류 (International Logistics)에 대한 관심이 증대되고 있다. 즉, 기업들이 Globalization을 추진함에 따라 물품이 해외로 이동하는 공간의 범위가 확대되고 있으며 세계시장에서 경쟁 우위를 점하기 위한 방안으로 물류의 효율화가 더욱 강조되고 있다 [1]. 특히 개방화의 물결에 따른 국가간 경쟁의 심화, 정보 기술 및 통신망의 급속한 발달 그리고 후발 개발도상국의 급격한 추격 등 급변하는 외부 환경에서 국내 기업들이 경쟁력을 확보하기 위한 방안으로 수출입 물량과 관련된 국제물류가 컨테이너를 통한 수송이 대부분을 차지하고 있는 상황에서 컨테이너 물류 생산성 향상은 매우 중요한 국가적 과제이다.

국제물류를 대표하는 컨테이너 물류 분야에 대한 그동안 수행된 연구 현황을 살펴보자. 컨테이너 물류는 컨테이너 터미널에서의 물류와 컨테이너 운송으로 구분할 수 있다. 먼저, 컨테이너 터미널의 설계 및 운영에 관해서는 비교적 많은 연구 성과를 보이고 있고, 또한 그 연구 결과가 제품화되어 실제 국내 터미널에서 활용되고 있으며, 더 나아가 이 분야의 선진국으로 평가되는 일존의 우수한 터미널에도 수출되어 가동되고 있다. 이에 반하여 컨테이너 운송 분야에 있어서는 국가적 관심에 비하여 수행된 연구는 김갑환·고창성·신재영 [2]의 화물수송에 관한 조사 연구를 근간으로 살펴보면 매우 미약한 실정이다. 국내에서 수행된 이 분야의 연구의 경우 김동희·이창호·김봉선[4]이 컨테이너 수송문제를 대상으로 동적 배차시스템을 소개하였

으며, 고창성 외 4인[3]이 컨테이너 서틀운송에서 최소 차량 대수 추정 문제를 다룬 것이 대표적이다. 따라서, 컨테이너 물류의 생산성이 컨테이너 터미널에서의 물류와 컨테이너 운송의 동기화 정도에 따라 결정되므로 똑같은 중요성을 가지고 연구가 수행되어야 할 것이다.

컨테이너 운송을 위한 배차계획 수립은 일반적으로 수출입 컨테이너 물량이 확보되면 이들을 운송하기 위해 서틀, 근거리 및 장거리 운송으로 구분하여 배차계획을 수립하게 된다. 국내 운송업체의 현황을 살펴보면, 대부분의 운송업체에서는 자사에서 직접 관리하는 직영차, 위탁관리하는 위탁차 (또는 지입차)와 필요시 임시로 활용하는 용차로 구분하여 이를 적절히 배분하여 차량 운영을 하고 있다. 특히, 위탁차의 경우는 모든 운영체제를 자차와 동일하게 하나, 다만 이익 배분이 수행 정도에 따라 차이가 나며, 용차의 경우는 해당 물량을 용차에 일임하며, 이 때 차량 경로에 대한 배차 수립은 용차 운영하는 회사에 일임하게 된다.

본 연구에서는 국내 운송업체에서 실제 운영하고 있는 세 가지 타입의 차량을 어떻게 운영하는 것이 가장 운송업체에 이익을 가져다 줄 것인가를 목표로 컨테이너 운송 효율의 특성을 반영한 배차계획을 수립하는 접근방법을 제시한다. 이를 위해 차량 운영 계획에 대한 수리적 모형을 구축하며, 이를 해결하는 탐색적 해법을 제시한다.

2. 문제의 모형화

수출입화물의 공로수송을 위해 사용되는 컨테

이러한 경우 다루어야 할 문제는 수송할 컨테이너 개당 loading 지점과 disloading 지점을 각각 하나씩의 노드로 삼는다. 즉, 시스템 내 수송해야 할 컨테이너가 모두 100개라고 하면 총 200개의 노드가 존재하는 네트워크를 생각할 수 있다. 수송해야 할 컨테이너 개수가 모두 n개라고 가정할 때, 문제의 모형화를 위해 필요한 기호는 다음과 같다.

N : 노드들 집합, $N = \{0, 1, \dots, n, n+1, \dots, 2n\}$

$N_1 = \{1, \dots, n\}$: set of pick-up nodes

$N_2 = \{n+1, \dots, 2n\}$: set of delivery nodes

이 때, 편의상 노드 $n+i$ 를 i^{th} 컨테이너의 pick-up 노드 i 에 대응되는 delivery 노드로 정의한다.

$K = K_1 \cup K_2 \cup K_3$: 차량들의 집합

K_1 : 20 ft 전용 차량의 인덱스 집합

K_2 : combined 차량의 인덱스 집합

K_3 : 40 ft 전용 차량의 인덱스 집합

s_j : node j 에서의 pick-up 혹은 delivery 수요

즉, pick-up node 에서는 20'이면 1, 40'이면 2이며, delivery node 에서는 20'이면 -1, 40'이면 -2

T : 각 차량의 1일 최대 운행시간

t_{ij} : node i 에서의 작업시간 + node i 로부터 node j 까지 이동시간

c_{ij}^k : 차량 k 를 사용한 node i 에서 node j 까지의 운송비용

r_i : pick-up node i 의 컨테이너 수송을 용차가 담당할 때의 비용

[Variable]

$x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{차량 } k \text{가 노드 } i \text{에서 노드 } j \text{로 이동하는 경우} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$

$y_i = \begin{cases} 1, & \text{용차가 노드 } i \text{를 방문하는 경우} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$

t_i^k : 차량 k 의 node i 도착 시간

m_i^k : node i 출발시 차량 k 에 적재된 화물의 크기

제약조건 (2)는 어떤 종류의 차량이든지 반드시 하나의 차량이 노드 i 를 방문해야 한다는 의미이고, (3)은 노드 i 를 어떤 종류의 차량이라도 반드시 한 번은 방문해야 한다는 것을 의미한다. 제약식 (4)는 어떤 차량이 노드 i 로 들어오면 그 차량이 노드 i 로부터 반드시 빠져나간야 한다. (5)는 차량 k 의 사용 여부를 나타내는 제약식이고, (6)은 하루의 차량 운영을 시점 0으로부터 시작한다는 것을 의미한다. (7)은 차량 k 가 컨테이너를 싣고 수송할 경우 pick-up 노드 i 와 delivery 노드 $n+i$ 에 차량 k 가 방문하는 시점간의 선후관계를 규정하는 것이며, (8)은 차량 k 가 노드 i 에서 노드 j 로 이동할 경우 노드 시작시간에 관한 제약조건을 의미한다. (9)는 차량 k 의 하루운행시간에 관한 제약이고, (10)은 하루의 영업을 시작하는 시점에서 차량 k 에는 컨테이너가 적재되어 있지 않음을 의미한다. (11)은 차량 k 가 노드 i 에서 노드 j 로 이동하는 경우 노드 i 와 노드 j 에서 차량이 출발할 때 차량 k 에 적재된 화물 크

Formulation

$$\text{Minimize } \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} c_{ij}^k \cdot x_{ij}^k + \sum_{i \in N_1} r_i \cdot y_i \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ji}^k + y_i = 1 \quad i \in N \quad (2)$$

$$y_i - y_{n+i} = 0 \quad i \in N_1 \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^k = \sum_{j \in N} x_{ji}^k \quad i \in N, \quad k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0j}^k \leq 1 \quad k \in K \quad (5)$$

$$t_0^k = 0 \quad k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^k = 1 \rightarrow t_i^k + t_{i,n+i} \leq t_{n+i}^k \quad i \in N_1, \quad k \in K \quad (7)$$

$$x_{ij}^k = 1 \rightarrow t_i^k + t_{ij} \leq t_j^k \quad i \in N, \quad j \in N, \quad j \neq n+i, \quad k \in K \quad (8)$$

$$t_i^k + t_{i0} \leq T \quad i \in N_2, \quad k \in K \quad (9)$$

$$w_0^k = 0 \quad k \in K \quad (10)$$

$$x_{ij}^k = 1 \rightarrow w_i^k + s_j \leq w_j^k \quad i \in N, \quad j \in N, \quad k \in K \quad (11)$$

$$w_i^k \begin{cases} \leq 1, & i \in N, \quad k \in K_1 \\ \leq 2, & i \in N, \quad k \in K_2 \\ = 0 \text{ or } 2, & i \in N, \quad k \in K_3 \end{cases} \quad (12)$$

$$x_{ij}^k = 0 \text{ or } 1 \quad i \in N, \quad j \in N, \quad k \in K \quad (13)$$

$$y_i = 0 \text{ or } 1 \quad i \in N \quad (14)$$

$$t_i^k \geq 0, \quad w_i^k \geq 0 \quad i \in N, \quad k \in K \quad (15)$$

기에 대한 관계를 규정한 것이다. (12)는 결정변수 w_i^k 의 상한제약을 의미한다.

3. 해법절차

전장에서 구축된 모형의 해를 도출하기 위해 본 연구에서는 차량경로문제의 Tour Construction 해법으로 잘 알려진 Insertion Heuristic (Rosenkrantz, Sterns and Lewis, 1977)을 근간으로 다음과 같은 해법을 구축하였다.

단계 0 (초기화 단계):

1. 40' 수송요구와 20' 수송요구를 나누어 정리한다.
2. 모든 차량들을 다음과 같은 순으로 정렬한다.

- ① 자차 40' 전용차량
- ② 자차 40' 20' Combined 차량
- ③ 자차 20' 전용차량
- ④ 지입차 40' 전용차량
- ⑤ 지입차 40' 20' Combined 차량
- ⑥ 지입차 20' 전용차량

3. 관련 변수들을 초기화한다.

단계 1 (차량 선택):

1. 적절한 배정 차량이 없는 경우, 모든 물량을 용차에 배정하고 해법을 종료한다.
2. 차량목록에서 우선 순위에 따라 미배정된 차량을 선택한다.

단계 2 (차량 배정 수송요구의 선택):

1. 모든 수송요구 물량이 배정되었으면 해법을 종료한다.
2. 배정되지 않은 모든 40' 수송요구 중에서 운행시간제약 및 용량제약을 만족하는 수송요구를 선택 후보로 정하고 후보 수송요구의 비용증가가 최소가 되는 값과 이 때의 pickup 과 delivery 위치를 찾는다.
3. 적절한 40' 수송요구를 찾을 수 없으면 배정되지 않은 모든 20' 수송요구에 대하여 위와 같은 방법으로 선택 후보를 정하고 관련 계산을 수행한다.
4. 선택 후보 수송요구들 중에서 가장 비용증가가 적은 수송요구를 선택한다.

단계 3 (수송요구 삽입):

1. 단계 2에서 적절한 수송요구를 발견할 수 없을 때, 차량목록에서 현 차량을 삭제하고 단계 1을 반복한다.
2. 단계 2에서 적절한 수송요구를 발견하면 선택된 수송요구를 선택된 위치에 삽입하고 차량의 총운행시간 (t_i^k)

과 적재화물량 (w_i^k)를 계산한다.

3. 선택된 수송요구를 수송요구 목록에서 삭제하고 단계 2를 반복한다.

4. 결론

국가간 무역의 장벽이 사라진 오늘날 국제물류에 대한 관심은 계속 증대되고 있다. 따라서, 국제물류의 수단으로 활용되는 컨테이너 물류에 대해 보다 많은 연구가 요구되고 있는 실정이다. 컨테이너물류에 대한 연구가 컨테이너 터미널에서의 물류와 컨테이너 운송으로 구분할 때, 터미널 운영 및 설비에 대해서는 비교적 많이 연구가 수행되었지만, 이에 반하여 컨테이너 운송분야에 있어서는 연구가 매우 미약한 실정이다.

이에 본 연구에서는 한국의 운송업체에서 실제 운영하고 있는 세 가지 타입의 차량을 어떻게 운영하는 것이 가장 운송업체에 이익을 가져다 줄 것인가를 목표로 컨테이너 운송 효율의 특성을 반영한 배차계획을 수립하는 접근방법을 제시하였다. 이를 위해 차량 운영 계획에 대한 수리적 모형을 구축하였고, 이를 해결하는 탐색적 해법을 제시하였으며 현장 자료에 기초한 문제를 통해 알고리즘의 성능을 검증하였다.

본 연구에서 제시한 접근 방법은 컨테이너 운송에만 국한하여 적용할 수 있는 것이 아니다. 조달물류, 유통물류 및 택배 등의 전 운송분야에서 국내의 대부분의 업체에서 이상의 세가지 형태로 차량을 운영하고 있는바 본 연구 결과는 여러 운송분야에 적용할 수 있을 것이다. 비록 본 연구에서는 컨테이너 셔틀운송이나 근거리 운송에 한정하여 문제를 접근하였으나, 추후 장거리운송과 연계한 종합적인 운송계획 수립으로의 확장에 대해서도 계속적으로 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 한진교통물류연구소 (1996), 교통물류연감
- [2] 김갑환·고창성·신재영 (1998), “화물수송계획 및 운영의 정량적 모형에 관한 연구,” 산업공학, 제11권, 제1호, pp.1-14.
- [3] 고창성·정기호·신재영·박성찬·이광인 (1999), “컨테이너셔틀운송을 위한 차량 대수 추정,” 한국경영과학회/대한산업공학회 ‘99춘계 공동학술대회 논문집, pp.24-24.
- [4] 김동희·이창호·김봉선 (1997), “컨테이너 화물수송을 위한 차량 배차 의사결정지원시스템,” 대한산업공학회지, 제23권, 제2호, pp.275-288.
- [5] Rosenkrantz, D., Sterns, R., and Lewis, P. (1977), “An Analysis of Several Heuristics for the Traveling Salesman Problem”, SIAM Journal of Computing, Vol.6, pp.563-581.