

동적 수요와 세 가지 차량형태를 고려한 총괄 컨테이너 운송계획

고창성^{1*} · 정기호² · 신재영³

¹경성대학교 산업공학과 / ²경성대학교 경영정보학과 / ³한국해양대학교 물류시스템공학과

Aggregate Container Transportation Planning in the Presence of Dynamic Demand and Three Types of Vehicles

Chang Seong Ko¹ · Ki Ho Chung² · Jae Young Shin³

¹Department of Industrial Engineering, Kyung Sung University, Busan, 608-736

²Department of e-Business, Kyung Sung University, Busan, 608-736

³Department of Logistics Engineering, Korea Maritime University, Busan, 606-791

At the present time, container transportation plays a key role in the international logistics and the efforts to increase the productivity of container logistics become essential for Korean trucking companies to survive in the domestic as well as global competition. This study suggests an approach for determining fleet size for container road transportation with dynamic demand. Usually the vehicles operated by the transportation trucking companies in Korea can be classified into three types depending on the ways how their expenses occur; company-owned truck, mandated truck which is owned by outsider who entrust the company with its operation, and rented vehicle (outsourcing). Annually the trucking companies should decide how many company-owned and mandated trucks will be operated considering vehicle types and the transportation demands. With the forecasted monthly data for the volume of containers to be transported a year, a heuristic algorithm using tabu search is developed to determine the number of company-owned trucks, mandated trucks, and rented trucks in order to minimize the expected annual operating cost. The idea of the algorithm is based on both the aggregate production planning (APP) and the pickup-and-delivery problem (PDP). Finally the algorithm is tested for the problem how the trucking company determines the fleet size for transporting containers.

Keywords: container transportation, fleet size, mandated and rented trucks, dynamic demand, tabu search, APP, PDP

1. 서론

오늘날 국제화와 개방화의 물결에 따른 국가 간 경쟁의 심화, 정보기술 및 통신망의 급속한 발달, 그리고 후발 개발도상국

의 급격한 추격 등 급변하는 외부 환경에서 국내 기업들이 경쟁력을 확보하기 위한 방안으로 물류에 대한 중요성이 더욱 강조되고 있다. 특히 수출입 물량과 관련되는 국제물류의 기본 흐름은 컨테이너를 통한 수송이 대부분을 차지하고 있어,

* 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(1999-1-315-001-3) 지원으로 수행되었음.

† 연락저자 : 고창성 교수, 608-736 부산시 남구 대연동 110 경성대학교 산업공학과, Fax : 051-621-2454, E-mail : csko@ks.ac.kr
2003년 7월 접수, 2회 수정 후 2003년 12월 게재 확정.

컨테이너 물류의 생산성 향상에 대한 보다 많은 연구 및 투자가 요구되고 있다.

컨테이너 물류는 크게 컨테이너 터미널 내에서의 물류와 컨테이너 운송물류로 크게 구분되며, 컨테이너 운송물류는 다시 해상운송, 항공운송, 육상운송으로 나눌 수 있다. 또한 육상운송의 경우도 운송수단에 따라 공로운송과 철도운송으로 구분되며, 또다시 공로운송은 컨테이너 운송업체의 관리방식에 따라 장거리운송, 근거리운송 및 셔틀운송으로 나눌 수 있다. 장거리 및 근거리운송은 수출입 물량의 주체가 되는 화주의 위치가 어느 정도 멀리 있는가에 따라 구분되며, 셔틀운송의 경우는 컨테이너 터미널과 터미널의 임시 버퍼 기능 및 컨테이너의 적재기능을 담당하는 ODCY(Off-Dock Container Yard) 간의 컨테이너 운송, 터미널과 재래 부두 간의 환적(Transshipment) 화물을 위한 운송, 그리고 철도수송을 위한 연결운송 등이 이 범주에 속하게 된다.

본 연구는 동적 수요하에서 공로수송을 위해 필요한 세 가지 형태의 차량 대수를 결정하는 방법을 제시한다. 국내 대부분의 운송업체의 경우 직영차(company-owned truck), 위탁차(또는 관리차, 지입차)(mandated truck) 및 용차(rented vehicle)의 세 가지 형태의 차량을 운영하고 있다(Ko *et al.* 2000, 2002). 운영 관점에서 살펴보면 직영차와 위탁차의 경우 운송회사에서는 특별한 차이를 두지 않고 운영하고 있으나, 차량 운전기사에 대한 급여 지급방법에 차이가 난다. 직영차의 경우에는 월급 형태의 일정 급여가 지급되는 데 반해, 위탁차의 경우는 기사 자신이 얼마나 많은 운송작업을 처리하였는가에 비례하여 기사의 수입이 결정된다. 따라서, 운송업체의 관리자는 매일 매일의 운송작업 요구량이 주어졌을 때, 이들 세 가지 차량의 특성 및 지출경비를 고려하여 차량 운영계획을 수립하게 된다.

대부분의 운송업체는 연말이 되면 차년도에 운송물량을 추정하고, 이를 토대로 하여 직영차, 위탁차 및 용차를 각각 몇 대씩 운영할 것인가를 결정하게 된다. 본 연구에서는 차년도의 운송물량에 대해 월별 예측자료가 확보된 상황에서 연간 총 운영비용이 최소가 되도록 세 가지 형태의 차량을 월별로 몇 대씩 운영할 것인가를 결정하기 위한 문제를 다룬다. 이 문제를 다루기 위해 총괄생산계획(Aggregate Production Planning; APP)과 Pickup-and-Delivery Problem(PDP)에 기초하여 수리적 모형을 제시하고, 타부탐색법(Tabu Search)을 활용하여 최적해 또는 근사 최적해를 탐색하도록 알고리즘을 개발하였다(Glover 1990).

Bodin *et al.*(1983)의 연구 분류에 따르면 컨테이너 셔틀운송 문제는 PDP 형태에 속하는데, 특히 본 연구에서 다루고자 하는 문제는 PDP 문제 중에서도 Multiple Vehicle Static Dial-a-Ride 문제로 볼 수 있다(Savelsbergh and Sol, 1995). 즉, 고객이 컨테이너를 어느 지점에서 상차하여, 다른 어느 지점으로 하차하라는 명령을 수행하는 차량 경로문제로 볼 수 있다. 이에 대한 대표적 연구로서는 Cullen, Jarvis and Ratliff(1981)의 연구를 들 수 있다. 또한 Dumas, Desrosiers and Soumis(1991)는 동일한 문제에

대해 시간창(Time Window) 제약을 고려한 문제를 다루었다. 그 외에 동적인 상황을 감안한 연구는 Psaraftis에 의해서 수행되었다(Psaraftis 1980, 1983). 한편 총괄생산계획에 관한 연구를 살펴보면, Bowman(1956)를 시작으로 총괄생산계획 문제에 대해 많은 분석적 연구와 탐색적 알고리즘을 개발하는 연구(Akinc and Roodman, 1986; Posner and Swarc, 1983; Singhal and Adlakha, 1989)가 수행되었으며, 최근에는 실제 문제에 적용하기 위한 연구가 많이 수행되었다(Buxey, 1995, Tadei *et al.* 1995). 최근, Ko *et al.* (2002)는 자동차 조달물류를 담당하는 회사를 대상으로 LTL(Less-than-truckload) 차량 대수를 결정하는 연구를 수행하였다. 그러나, 이 연구에서는 연초에 결정된 차량 대수는 변경되지 못한다는 제약하에 수행되었는데, 본 연구에서는 TL(Truckload) 운송의 대표적인 컨테이너 운송을 대상으로 PDP 문제를 다루었으며, 현실 적용성을 높이기 위하여 연초에 결정된 각 형태별 차량 대수는 6개월 지난 후 변경할 수 있는 것으로 제약조건을 보다 현실화하여 문제를 접근하였다.

본 연구에서 제시하는 수리적 모형과 알고리즘을 국내의 컨테이너 운송업체를 대상으로 셔틀운송에 필요한 총괄운송계획 수립에 활용하기 위해 적용해 보았다.

2. 문제의 정의

국내 운송업체에서 활용되는 세 가지 형태의 차량에 대한 비용구조에 대해 살펴보면, 먼저 직영차에 대한 비용은 차량 구입비, 인건비, 보험료 등을 포함하는 고정비용과 운송물량에 비례하는 변동비용의 합으로 나타난다. 위탁차의 경우는 직영차의 그래프와 유사한 형태를 보이고 있으나, 직영차와 비교하여 고정비는 매우 작고, 변동비용은 훨씬 크게 발생한다는 것을 보여 주고 있다. 용차의 경우는 운송물량에 비례하는 변동비용만 발생하기 때문에, 위탁차와 비교하여 볼 때 고정비가 없는 대신 변동비용이 크게 발생한다(Ko *et al.* 2002).

또한, 대부분의 국내 운송업체에서는 전술한 바와 같이 매년 말(또는 차기 연도 초)에 차기 연도의 운송물량을 고려하여 세 가지 형태의 차량 대수를 결정해야 한다. 그러나 실제 처리해야 하는 운송물량은 매달 차이가 많이 발생한다. 만일 직영차의 비율을 높게 되는 경우에는 물량에 상관없이 고정비의 부담이 커지게 되며, 반대로 직영차 비율을 줄이게 되는 경우에는 물량이 많이 발생될 때 변동비의 부담이 커지게 될 것이다. 직영차와 용차의 중간형태를 취하고 있는 위탁차의 경우도 유사한 개념으로 해석될 수 있다.

본 연구에서는 연간 물량의 변화에 따른 각 차량의 형태별 trade-off를 고려하여 차량 대수를 결정하는 총괄운송계획 문제를 다루게 된다. 특히, 국내 운송업체에서 수행되는 실제 상황을 반영시키기 위해 일부의 직영차는 일정 기간이 지나면 위탁차로 변경할 수 있도록 가정하였다. 이것은 일반적으로 위탁차의 기사가 직영차의 기사보다 많은 수입을 기대할 수 있

는 것에 기인하며, 반대의 전환은 없는 것으로 하였다. 또한, 1년에 이와 같은 전환 시점은 6개월 경과된 후에 가능한 것으로 가정하였다. 만일 직영차에서 위탁차로 전환할 경우에 운송업체에서는 위탁차의 기사에게 저가의 차량 인수 등의 혜택을 주게 되는데, 이것은 운송업체의 입장에서는 전환비용(change-over cost)이 발생하는 것으로 생각할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 차년도의 운송물량을 처리하기 위하여 필요한 총비용을 최소로 하기 위하여 첫 6개월과 다음 6개월 동안 각각 세 가지 형태의 차량을 몇 대씩 운영할 것인가를 결정하는 방법을 제시한다. 본 연구에서 다루는 문제는 개념상 총괄생산계획 문제와 매우 유사하다. 총괄생산계획이란 예측 수요를 만족하기 위해 회사의 인적 또는 물적 자원을 어떻게 활용할 것인가를 결정하는 문제인데, 본 연구와의 차이점은 전통적인 총괄생산계획 문제에서는 자원투입량의 변경이 매달 가능한 데 반하여, 본 연구에서는 6개월이 경과해야 변경이 가능하며 아울러 직영차에서 위탁차로의 변경만 가능하다고 제약을 두는 것이 차이점이 될 수 있다. 본 연구에서는 직영차와 위탁차의 수량만 결정한다. 만일 물량이 많아져 직영차와 위탁차로 처리되지 못하는 경우는 운송물량은 자동적으로 용차가 수행하는 것으로 한다. 아울러, 본 연구에서는 다음과 같은 환경을 고려하고 있다.

첫째, 컨테이너 차량은 콤바인드(combined) 사시를 가진 차량만 존재하는 것으로 하고 있다. 실제, 20' 컨테이너 전용 또는 40' 컨테이너 전용 사시와 같은 다른 형태의 사시가 사용될 수 있으나, 본 연구에서는 문제의 복잡성을 피하기 위하여 20'와 40' 컨테이너를 수송할 수 있는 콤바인드 사시 부착 차량만을 고려한다.

둘째, O-D 쌍 간의 운송물량 분석자료가 확보되어 있는 것으로 가정한다. 이는 현실적으로 대부분의 운송업체에서 과거 수행한 운송물량 자료를 통해 O-D 쌍 간의 20'와 40' 컨테이너 물량자료를 가지고 있기 때문이다.

3. 수리적 모형 및 알고리즘

본 장에서는 전술한 문제를 보다 명확히 설명하기 위해 수리적 모형을 제시하고 알고리즘의 논리를 개발한다. 본 연구에서 사용되는 주요 기호는 다음과 같다.

- $I = \{1, 2, 3\}$: 컨테이너 차량 형태들의 집합,
- 여기서 1은 직영차, 2는 위탁차, 3은 용차를 나타낸다.
- $T = \{t \mid t = 1, 2, \dots, 12\}$: 계획기간으로 12개월을 나타낸다.
- $T_1 = \{t \mid t = 1, 2, \dots, 6\}$: 첫 계획기간 6개월
- $T_2 = \{t \mid t = 7, 8, \dots, 12\}$: 다음 계획기간 6개월
- $n_1(t)$: 기간 t 에 운송되어야 할 20' 컨테이너 물량
- $n_2(t)$: 기간 t 에 운송되어야 할 40' 컨테이너 물량
- $n(t)$: 기간 t 에 운송되어야 할 컨테이너 물량,

- $n(t) = n_1(t) + n_2(t)$
- n_{it} : 기간 t 에 형태 i 차량이 처리해야 할 컨테이너 물량
- $N(t)$: 기간 t 에 $n(t)$ 개를 처리하기 위해 필요한 총 차량 대수
- N_{it} : 기간 t 에 사용되는 형태 i 차량 대수
- $C_i(t)$: 기간 t 에 형태 i 차량을 운영하는 데 소요되는 비용
- F_i : 형태 i 차량의 월간 고정비, 여기서 $F_3 = 0$
- V_i : 형태 i 차량이 처리하는 컨테이너에 대한 단위 변동비
- R : 전환비용, 즉 직영차 1대를 위탁차로 전환시킬 때 발생하는 비용
- S : PDP를 풀어 구한 월별 필요한 세 가지 형태의 차량 대수와 세 가지 형태의 차량이 처리하는 컨테이너 물량 쌍(n_{it}, N_{it})들의 집합

연초에 결정된 직영차 중 일부는 6개월이 경과하면 위탁차로 전환될 수 있기 때문에 결정변수 N_{1t} 와 N_{2t} 는 첫 6개월과 다음 6개월 동안의 직영차와 위탁차의 대수를 나타내는 (N_1^1, N_2^1) 과 (N_1^2, N_2^2) 로 다시 정의할 수 있다.

$$N_{it} = \begin{cases} N_i^1, & i = 1, 2, t \in T_1 \\ N_i^2, & i = 1, 2, t \in T_2 \end{cases}$$

따라서, 본 연구에서 다루는 문제는 다음과 같이 정식화할 수 있다.

$$\text{Min } TC = \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} C_i(t) + R \cdot (N_1^1 - N_1^2) \quad (1)$$

where $C_i(t) = F_i N_{it} + V_i n_{it}$

subject to

$$\sum_{i \in I} n_{it} = n(t) \quad , t \in T \quad (2)$$

$$N_1^1 + N_2^1 + N_{3t} \geq N(t) \quad , t \in T_1 \quad (3)$$

$$N_1^2 + N_2^2 + N_{3t} \geq N(t) \quad , t \in T_2 \quad (4)$$

$$N_1^1 \geq N_1^2 \quad (5)$$

$$N_1^1 + N_2^1 = N_1^2 + N_2^2 \quad (6)$$

$$(n_{it}, N_{it}) \in S \quad , i \in I, t \in T \quad (7)$$

$$n_{it}, N_{it} : \text{nonnegative integer} \quad , i \in I, t \in T \quad (8)$$

목적함수 (1)은 차년도 12개월 동안의 운송요구를 처리하기 위해 필요한 세 가지 형태의 차량을 운영하는 데 소요되는 총 비용이다. 이는 각 형태 차량의 고정비와 변동비 및 직영차의 위탁차 전환비용의 합으로 표현된다. 제약조건 (2)는 모든 운송요구는 세 가지 형태의 차량에 의해 모두 처리되어야 함을 나타낸다. 또한, 제약조건 (3)과 (4)는 세 가지 형태 차량의 가용성을 나타내고 있다. 아울러, 제약조건 (5)와 (6)은 연초에 결정된 직영차는 6개월 경과 후 위탁차로의 전환이 가능하다는 것을 나타낸다. 마지막으로 제약조건 (7)은 월별 컨테이너 수송 물량 및 운영비용을 고려한 PDP를 통해 월별 필요한 세 가지

형태의 차량 대수와 세 가지 형태의 차량이 처리해야 하는 컨테이너 물량이 결정된다는 것을 보여 주고 있다.

구축된 모형은 주문제(main problem)와 부문제(subproblem)로 나누어진 것인데, 주문제는 정수계획 모형으로 되어 있어 쉽게 접근이 가능한 것으로 보이나, 부문제가 NP class에 속하는 PDP 문제로 되어 있어 이를 통합해서 해를 도출한다는 것은 매우 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 이 문제를 해결하기 위해 부문제인 PDP를 풀어 도출한 해를 주문제의 입력값으로 하여 주문제의 근사 최적해를 타부탐색법으로 찾아가는 탐색적 알고리즘을 개발하고, 이를 국내 운송업체에서 수집된 자료를 토대로 알고리즘을 적용하였다.

구체적인 알고리즘의 각 단계는 다음과 같다.

Step 1. 일별 수요 추출

월별 작업일수를 25일로 가정하여 각 O-D 쌍간의 평균 일별 운송물량을 추출한다. 월별 TEU(Twenty Equivalent Unit) 로 환산된 컨테이너 예측물량 자료를 기업에서 보유하고 있는 O-D 쌍 간의 20'와 40' 컨테이너 물량 분배 관계식을 곱하여 일별 20'와 40' 컨테이너 물량을 추출한다.

Step 2. PDP 해 도출

- (1) 본 연구에서 사용된 PDP 알고리즘은 VRP(Vehicle Routing Problem)에서 많이 적용되는 Insertion Heuristic(Rosenkrantz et al. 1977)을 PDP에 맞게 보정한 것이다(고창성 외 5인 2002). 이 알고리즘을 이용하여 Step 1에서 계산된 $n_1(t)$ 와 $n_2(t)$ 를 만족시키는 $N(t)$ 를 추정한다.
- (2) N_1^l 의 하한치, N_1^l 을 $\text{Min} \{N(t), t \in T\}$ 로 정의한다.
- (3) $N_1^l + N_2^l$ 의 상한치를 $\text{Max} \{N(t), t \in T\}$ 로 정의한다.
- (4) Step 2.1에서 형성된 tour를 각 tour에 포함되는 컨테이너 수량을 기준으로 내림차순으로 정렬한다.

Step 3. 타부 탐색법

- (1) 총비용 정의
 - ① $N_1^1, N_2^1, N_1^2, N_2^2, N_{3t}$ 를 활용하여 $n(t)$ 를 처리하는 데 소요되는 총비용 $TC(N_1^1, N_2^1, \Delta)$ 를 정의한다. 여기서 $\Delta = N_1^1 - N_1^2$ 이며, N_{3t} 는 다음과 같이 계산된다.

$$N_{3t} = \begin{cases} \text{Max} \{0, N(t) - N_1^1 - N_2^1\}, & \text{for } t \in T_1 \\ \text{Max} \{0, N(t) - N_1^2 - N_2^2\}, & \text{for } t \in T_2 \end{cases}$$
 - ② Step 2.4에서 형성된 정렬된 tour를 직영차, 위탁차 및 용

차의 순서로 차량에 할당한다.

(2) 탐색

- ① 초기 가능해 (N_1^1, N_2^1, Δ) 를 $(N_1^l, 0, 0)$ 으로 한 후 총 비용 TC를 계산한다.
- ② 해를 Index List(IL)와 Candidate List(CL)에 첫 번째 배열(configuration)으로 등록하고, Aspiration Level(AL)을 TC 값으로 설정한다.
- ③ 현 배열을 시작점(seed)으로 하여 N_1^1, N_2^1 및 Δ 에 대해 근처로 탐색과정을 수행한다.
- ④ 새롭게 생성된 배열에 대해 각각 TC를 계산하고 이 중 가장 TC가 작은 배열을 선택한다. 선택된 배열에서 직전 변동된 요소에는 밑줄을 긋는데, 이는 타부를 표시한다. 만일 현 배열의 TC가 AL 보다 작으면, 하나의 '*'가 이 배열에 추가되며 CL에 등록된다. 만일 동일한 TC를 갖는 경우가 발생하면, 같은 값을 갖는 모든 배열을 CL에 등록한다. 반면에 비용이 AL과 비교하여 크면 '*'를 부여하지 않는데, 이것은 추후 탐색과정에서 부분 최적해가 될 수 없음을 의미한다. 만일 첫 시작점이 하나의 '*'를 부여받았다면 그 배열은 새로운 부분 최적해로 두 개의 '*'를 부여받고 IL에 등록된다. 계속적으로 새 배열은 CL에 등록된다.
- ⑤ 만일 $N_1^1 + N_2^1$ 의 값이 상한치에 도달하면 Step 3의 ⑥으로 간다. 그렇지 않으면, CL에서 새로운 배열을 생성하고 Step 3의 ④로 간다.
- ⑥ TC에 대한 최선의 값은 현재까지 누적된 부분 최적해 중 최소의 값을 갖는 것으로 결정한다.

4. 수치 예제

전장에서 제시한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 본장에서 수치 예제를 소개한다. 본 예제에서 활용되는 자료는 국내의 한 컨테이너 운송회사에서 수집된 자료를 기초로 하여 작성되었다.

<표 1>은 차년도의 월별 서틀운송 물량에 대한 예측자료로부터 O-D 쌍 간 물량비율의 자료를 활용하여 일일 운송물량 자료로 변환한 것이다. 여기서 O-D 쌍 간의 물량비율이란 과거의 O-D 쌍 간의 물량패턴이 어떻게 되었는가를 나타내는 자료를 지칭한다. <표 2>에는 O-D 쌍 간의 물량 중 20' 컨테이

표 1. 차기 연도 월별 일일 서틀운송 예측물량

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20'	74	57	92	78	60	87	415	65	355	398	55	52
40'	115	95	154	128	101	140	688	109	575	653	87	84
TEU	304	247	400	334	262	367	1791	283	1505	1704	229	220

너에 대한 물량비율을 보여 주고 있으며, 40' 컨테이너에 대한 물량비율 자료는 생략하였다. <표 3>은 <표 1>과 <표 2>의 자료를 활용하여 완성된 20' 컨테이너의 예측물량에 대해 1월의 경우에 한하여 O-D 쌍 간의 추정 일별 물량자료를 보여 주고 있다. 본 연구에서는 비록 1월의 20' 컨테이너 추정 일별 물량자료만을 보여주고 있으나 알고리즘 수행에는 12개월 동안의 20'와 40' 컨테이너 추정 자료, 즉 총 24개의 표가 입력으로 사용된다.

본 연구에서는 각 차량의 일일 가동시간은 8시간으로 가정하고 있으며, 컨테이너당 상·하차시간은 컨테이너 크기와는 상관없이 0.3 시간으로 가정한다. <표 4>는 직영차, 위탁차 및 용차에 대한 비용 모수에 대한 값을 나타내고 있으며, <표 5>는 개발 알고리즘에서 Insertion Heuristic에 기초한 PDP 알고리즘과 O-D 쌍 간의 운송시간 자료를 활용하여 도출한 월별 컨테이너 차량의 일일 최소 대수 자료를 보여 주고 있다. <표 6>은 개발 알고리즘에서 타부탐색법의 수행과정을 보여 주고 있는데, 이 중 20번째의 배열이 이 예제에 대한 해가 된다. <표 7>은 탐색 결과 선정된 해에 대해 설명하고 있다. 첫 6개월 동안은 직영차 55대와 위탁차 9대로 운영하고, 다음 6개월은 직

영차 4대를 위탁차로 전환시켜 결국 직영차 51대, 위탁차 12대로 운영한다. 또한 월별 활용되는 용차의 경우를 살펴보면, 1월, 3월, 4월, 6월, 7월에 각각 3대, 22대, 12대, 17대, 3대의 용차가 추가로 필요하며, 나머지 2월, 5월, 8월, 9월, 10월, 11월, 12월에는 용차를 사용하지 않음을 알 수 있다.

표 4. 직영차, 위탁차 및 용차에 대한 비용 모수에 대한 값

모 수		입력값
	F_1	60
	F_2	10
	R	10
20'	V_1	1
	V_2	5
	V_3	7
40'	V_1	1.2
	V_2	6
	V_3	8.4

표 2. O-D 쌍 간의 물량 중 20' 컨테이너에 대한 물량비율 (단위: %)

	엄궁	수영	용당	감만	BCTOC	재래부두	부산진역	UTC
엄궁	0	1.93	0	0	0.72	0	0	3.62
수영	5.8	0	0	3.14	0.72	0	0	0
용당	0	0	0	0	1.21	6.28	0	3.14
감만	0	1.45	0	0	6.76	0	2.42	0
BCTOC	3.62	4.83	0.72	1.45	0	3.86	4.11	4.43
재래부두	0	0	1.21	0	2.17	0	0	6.76
부산진역	0	0	0	3.62	1.45	0	0	0
UTC	7	0	7	0	5.31	5.31	0	0

표 3. 1월의 20' 컨테이너 일일 예측물량

	엄궁	수영	용당	감만	BCTOC	재래부두	부산진역	UTC
엄궁	0	1	0	0	1	0	0	3
수영	4	0	0	2	1	0	0	0
용당	0	0	0	0	1	4	0	2
감만	0	1	0	0	5	0	2	0
BCTOC	3	3	1	1	0	3	3	3
재래부두	0	0	1	0	2	0	0	5
부산진역	0	0	0	3	1	0	0	0
UTC	5	0	5	0	4	4	0	0

표 5. 월별 컨테이너 차량의 일일 최소 대수

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
차량 대수	67	56	86	76	59	81	67	64	56	64	51	49

표 6. 타부 탐색과정

No.	CL	총비용	IL
1	(49,0,0)	10,927*	
2	(50,0,0)	10,882*	
3	(51,0,0)	10,842*	
4	(51,1,0)	10,813*	
5	(51,2,0)	10,785*	
6	(51,3,0)	10,757*	
7	(51,4,0)	10,732*	
8	(51,5,0)	10,706*	
9	(51,6,0)	10,688*	
10	(51,7,0)	10,671*	
11	(51,8,0)	10,654*	
12	(51,9,0)	10,631*	
13	(52,9,0)	10,621*	
14	(53,9,0)	10,611*	
15	(54,9,0)	10,609*	
16	(54,9,1)	10,606*	
17	(54,9,2)	10,604*	
18	(54,9,3)	10,601**	(54,9,3)
19	(55,9,3)	10,602	
20	(55,9,4)	10,600**	(55,9,4)
21	(56,9,4)	10,605	
22	(56,9,5)	10,602**	(56,9,5)
23	(56,9,6)	10,609	
24	(56,9,7)	10,615	
25	(57,9,7)	10,623	
∴	∴	∴	

표 8. 주요 비용 모수 변화에 따른 결과분석

실험번호	모수 변화값	타부탐색해	총비용
1	C2 : 10% 증가	(56,7,0)	10,694
2	C2 : 25% 증가	(56,0,0)	10,734
3	C3 : 25% 증가	(56,20,5)	10,732
4	F2 : 10% 증가	(54,9,3)	10,621
5	C2, F2 : 10% 증가	(56,7,0)	10,712
6	R = 0	(56,9,7)	10,545
7	R = 5	(53,12,2)	10,589
8	R = 20	(56,9,1)	10,623

<표 8>은 주요 비용 모수 변화에 따른 해의 변화를 살펴보기 위해 추가적으로 수행한 실험 결과를 정리한 것이다. 실험 1과 2는 C₂ 변화에 따른 해의 변화를 살펴본 것으로 C₂가 증가할수록 위탁차의 사용이 감소됨을 알 수 있었다. 실험 3은 C₃ 변화에 따른 해의 변화를 살펴본 것으로 C₃가 증가함에 따라 용차의 사용을 줄이고 대신 위탁차의 사용이 급증함을 알 수 있다. 실험 4는 F₂ 변화에 따른 해의 변화를 살펴본 것으로 F₂의 변화에는 해의 변화가 둔감함을 알 수 있었다. 실험 5는 C₂와 F₂를 동시에 10% 증가시켰을 때의 해의 변화를 살펴본 것으로, 이 경우에는 위탁차의 사용을 줄이고 대신 용차 사용을 선호하는 것을 알 수 있었다. 실험 6, 7, 8은 R의 변화에 따른 해의 변화를 살펴본 것인데, R이 증가할수록 대체로 후반기에 직영차의 위탁차 전환이 억제되는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 국내 대부분의 운송업체에서 활용하는 세 가지 형태의 차량을 고려하여 차기 연도의 운송물량을 처리할 수 있는 차량 대수를 결정하는 방법을 제시하였다. 본 연구에서 개발된 알고리즘은 총괄생산계획과 PDP에 근거하여 만들어

표 7. 알고리즘 수행 결과에 따른 차기 연도 총괄운송계획

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
직영차	55	-	-	-	-	-	51	-	-	-	-	-
위탁차	9	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-
용차	3	0	22	12	0	17	3	0	0	0	0	0

졌으며, 탐색기법으로는 타부탐색법을 사용하였다. 본 연구에서 개발된 알고리즘의 성능평가를 위해서는 여러 상황의 문제에 적용해 보고 그 결과를 기존의 알고리즘이나 실제 현장에서 사용되고 있는 경험적인 방법과 비교해 보는 것이 타당하다. 그러나, 본 연구에서 다루는 문제의 복잡성으로 인해 기존 알고리즘과의 비교가 매우 어렵고, 또한 현장자료 역시 차량이 순수하게 셔틀운송으로만 할당되어 운영되는 게 아니라 장거리 또는 근거리 운송에도 혼용되기 때문에 이들과의 직접적 비교가 현실적으로 불가능하다. 따라서, 추후 이 분야의 계속적인 연구 수행 시에 본 연구결과가 비교기준이 될 수 있을 것이다.

비록 본 연구가 컨테이너 운송문제만을 다루었지만, 본 연구에서 활용된 방법은 기타 운송업체의 경우에도 응용될 수 있을 것이다. 아울러, 본 연구에서는 계획기간 12개월 중 6개월이 경과된 시점에 단 한 차례 차량 대수를 변화시키는 것을 가정하였다. 그러나 현실적으로 업체마다 차량운영계획이 각각 다른 점을 감안할 때, 매달 변경하는 경우의 문제에 대해서도 다소 복잡하기는 하지만, 동일한 방법의 확장을 통해 적용 가능하리라 본다. 이 경우 구체적인 모형 수립이나 알고리즘의 확장 등은 추후 과제로 또 하나의 연구대상이 될 수 있을 것이라 여겨진다.

참고문헌

고창성, 정기호, 신재영, 김홍배, 양천석, 박성찬 (2002), “추계적 작업환경에서 컨테이너 운송 차량 대수 결정”, *한국생산관리학회지*, 12(3), 33-45.
 Akinc, U. and Roodman, G. M. (1986), A New Approach to Aggregate Production Planning, *IIE Transactions*, 18, 88-94.
 Bodin, L. D., Golden, B. L., Assad, A. A. and Ball, M. O. (1983), Routing

and Scheduling of Vehicles and Crews: The State of the Art, *Computers and 4. 5. Operations Research*, 10(2), 63-211.
 Bowman, E. H. (1956), Production Scheduling by the Transportation Method of Linear Programming, *Operations Research*, 4, 100-103.
 Buxey, G. (1995), A Managerial Perspective on Aggregate Planning, *International Journal of Production Economics*, 41, 127-133.
 Cullen, F. H., Jarvis, J. J. and Ratliff, H. D. (1981), Set Partitioning Based Heuristics for Interactive Routing, *Networks*, 11, 125-143.
 Dumas, Y., Desrosiers, J. and Soumis, F. (1991), The Pickup and Delivery Problem with Time Windows, *European Journal of Operational Research*, 54, 7-22.
 Glover, F. (1990), Tabu Search: Tutorial, *Interfaces*, 20(4), 74-94.
 Ko, C. S., Chung, K. H. and Shin, J. Y. (2002), Determination of Fleet Size for LTL Transportation with Dynamic Demand, *International Journal of Management Science*, 8(2), 1-13.
 Ko, C. S., Shin, J. Y., Chung, K. H., Hwang H. and Kim, K. H. (2000), An Analytical Approach and Scheduling of Container Vehicles in Korea, *Proceeding of International Conference on Production Research 2000*, Bangkok, Thailand, 2-4.
 Posner, M. E. and Swarc, W. (1983), A Transportation Type Aggregate Production Model with Backlogging, *Management Science*, 29, 188-199.
 Psaraftis, H. N. (1980), A Dynamic Programming Solution to the Single Vehicle Many-to-Many Immediate Request Dial-a-Ride Problem, *Transportation Science*, 14, 130-154.
 Psaraftis, H. N. (1983), An Exact Algorithm for the Single Vehicle Many-to-Many Dial-a-Ride Problem with Time Windows, *Transportation Science*, 17, 351-357.
 Rosenkrantz, D., Sterns, R. and Lewis, P. (1977), An Analysis of Several Heuristics for the Traveling Salesman Problem, *SIAM Journal of Computing*, 6, 563-581.
 Savelsbergh, M. W. P. and Sol, M. (1995), The General Pickup and Delivery Problem, *Transportation Science*, 29, 17-29.
 Singhal, K. and Adlakha, V. (1989), Cost and Shortage Trade-offs in Aggregate Production Planning, *Decision Science*, 20, 158-164.
 Tadei, R., Trubian, M., Avendano, J. L. (1995), Della Croce, F. and Menga, G., Aggregate Planning and Scheduling in the Food Industry: A Case Study, *European Journal of Operational Research*, 87, 564-573.



고창성
 고창성
 서울대학교 산업공학과 학사
 한국과학기술원 산업공학과 석사
 한국과학기술원 산업공학과 박사
 현재: 경성대학교 산업공학과 교수
 관심분야: 물류관리, SCM



정기호
 서울대학교 경영학과 학사
 한국과학기술원 경영과학 석사
 한국과학기술원 경영과학 박사
 현재: 경성대학교 e-비즈니스 전공 교수
 관심분야: SCM, 물류관리



신재영
 서울대학교 경영학과 학사
 한국과학기술원 경영과학 석사
 한국과학기술원 경영과학 박사
 현재: 한국해양대학교 물류시스템공학과 교수
 관심분야: 물류관리, 물류정보, 최적화모형