

컨테이너 수송차량의 운영계획을 위한 계량적 분석

권 인 연¹⁾, 申 宰 榮²⁾

Quantitative Analysis for the Operational Plan of Container Transportation

In-Yeong Kwon, Jae-Yeong Shin

Abstract

In these days, international transportation has become extremely important operation of companies and we can observe the increase of multimodal transportation in the international logistics. International multimodal transportation was advanced with containerization of transport. The containers are useful element in international transportation and have various shipping stages in logistics system.

In this paper, we focused on inland container transport among complex processes of containers. First, we investigated the duty and planning steps of inland transportation company for container's transport schedule and vehicles route. Secondly, we formulated vehicle scheduling problem for timely container transportation and found solution. We used random data and examined adequation of our formulation. The result of examination was good for small size problem(the number of transportation requests is 3 or 4) and the mode closely expressed planning steps of inland transportation company for container's transport schedule and vehicles route. Next, we developed heuristic

1) 한국해양대학교 항만운송공학과 석사과정 항만운송 전공

2) 한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

algorithm for operational plan of container tractor in a short time. The heuristic algorithm was considerably composed two phases. Tour construction and tour improvement are that and daily task of H enterprise was used to inspect our heuristic algorithm.

As a result, routing department of inland transportation company must analyze relation between cost and vehicle routing. Container vehicle's route and schedule must be planned with the result of analysis.

1. 서 론

최근들어 무역의 증가와 기업의 국제화 추진이 급속히 이루어지면서 국제물류(international logistics)에 대한 관심이 증대되고, 물류문제가 중요한 연구대상으로 자리잡고 있다. 따라서 국제물류는 기업뿐만 아니라 국가적 차원에서도 경쟁력 확보를 위한 전략적 과제로 다루어지고 있으며, 국제물류를 원활한 수행을 위해 물류전문기업의 역할이 강화되고, 컨테이너의 활용도가 높아지며, 복합일관운송이 다면적으로 전개되고 있다. 본 논문은 컨테이너를 이용한 복합운송의 여러가지 수송과정들 중에서 내륙운송의 효율화에 초점을 맞추었으며, 공로를 중심으로 바람직한 차량의 운영계획 수립절차를 제시함으로써 내륙운송 과정뿐만 아니라 국제물류 전과정의 효율화에 기여하고자 한다.

2. 연구대상업무의 분석

2.1 수출·입 화물의 내륙운송

현재 우리 나라 전체 수출·입 물동량의 15%가량을 컨테이너 화물이 차지하고 있으며, 컨테이너 수송의 여러 가지 장점으로 인해 컨테이너 물동량은 꾸준히 증가하는 추세에 있다. 그리고 수출컨테이너 물동량이 수입에 비해 상대적으로 높은 비율을 차지하고 있다. 한편 우리 나라 해상수출·입 화물의 18.8% 정도를 처리하고 있는 부산항의 경우, 물동량의 76.9%가량을 컨테이너 화물이 점유하고 있는데, 이는 전국 컨테이너 화물의 95%에 해당하

는 량이다. 다음으로 부산항을 경유하는 수출·입 컨테이너를 중심으로 배후수송체계를 살펴보면, 1995년도에 85%이상을 처리한 공로가 압도적인 우위를 점하는 가운데 부산↔경인(부곡)지역 수송에 한해 철도가 보조적 기능을 담당하고 있으며, 부산↔기타지역간 철도 컨테이너 수송도 일부 시도되고 있다. 또한, 경부고속도로 등의 교통체증이 날로 악화되어 도로를 통한 수출·입 화물의 적시운송이 어려워지자 1990년 (주)한진이 부산 인천간 연안 컨테이너 수송을 시작한 이후, 대한통운(주)에서도 연안해상수송을 시작해 연안컨테이너 수송화분이 조금씩 증가하고 있다. 그러나 여전히 공로를 통한 컨테이너 수송량이 대부분을 차지하고 있다. 이러한 상황에서 내륙수송의 효율화를 위한 대안들은 대부분 내륙운송수단의 주류를 차지하는 공로운송 체계의 개선보다는 공로운송 비율의 감소에 비중을 두고 있다. 그러나 체중 등으로 공로운송비가 증가하고 있다는 측면에서는 공로수송 비율을 줄이는 것도 중요하지만, 늘어나는 비용만큼 현실적으로 줄어들지 않는 공로수송의 비중을 감안해 볼 때 공로수송을 효율화하는 것이 현실성 있는 대안이라 할 수 있다.

2.2 내륙운송업체의 차량운영계획 수립절차

본 장에서는 컨테이너 내륙수송의 대부분을 담당하고 있는 내륙운송업체의 운영현황과 컨테이너 및 차량의 운영계획 수립절차를 살펴보았다. 수출·입 화물량의 변동에 따라서 컨테이너 물량이나 내륙운송업체의 컨테이너 운송물량도 변화하게 된다. 그러나 내륙운송업체들이 보유하고 있는 차량은 이러한 변동에 따라 계속적으로 변하는 것이 아니라 일정 수준을 유지하고 있으므로 물량의 변화에 따라 차량의 과부족이 발생할 수 있다. 이러한 차량의 과부족으로 인해 각 내륙운송업체들은 자사의 수송물량을 가장 적절히 처리할 수 있는 수준의 차량을 보유하여 운행하면서, 보유하고 있는 차량으로 처리할 수 없는 화물에 대하여서는 컨테이너 수송차량을 보유하고 있는 용차업체에 수송을 의뢰한다. 따라서 내륙운송업체의 입장에서는 현재 보유하고 있는 차량을 적극적으로 활용하여 용차업체에 의뢰하는 컨테이너의 수를 줄이는 것이 바람직하다. 한편, 용차업체에 수송을 의뢰할 경우 내륙운송업체는 차량의 경로에는 관여하지 않으며, 자차의 경우에만 차량의 경로를 고려하여 화물을 배정한다. 내륙운송업체의 차량운영계획수립 절차를 살펴보면, 운영계획 수립 담당부서에서 컨테이너에 관한 정보를 가지고 당일에 처리해야할 물량과 사용가능한 차량을 고려하여 화주의 수송요구일에 컨테이너의 수송을 완료할 수 있도록 계획을 수립한다. 이때 고려하는 제약으로는 차량의 1일 운영시간, 화주의 운송요구시간, 혼재시 크기와 중량 등이 있다. 차량운영계획 수립절차를 혼재와 복화의 관점에서 나타내면 다음의 <그림 1>

3.1 계량적 모형

Minimize

$$Z = \sum_{i \in N \cup D} \sum_{j \in N \cup D} \sum_{k \in M} c_{ij}^k \times x_{ij}^k + \sum_{i \in N} rc_i \times y_i$$

Subject to

$$\sum_{k \in M} z_i^k + y_i = 1 \quad \forall i \in N^+$$

$$\sum_{j \in N \cup D} x_{ij}^k = \sum_{j \in N \cup D} x_{ji}^k \quad \forall i \in N, k \in M$$

$$\sum_{j \in N \cup D} x_{ij}^k = z_i^k \quad \forall i \in N^+, k \in M$$

$$\sum_{j \in N} (x_{2n+1,j}^k + x_{2n+2,j}^k) = 1 \quad \forall k \in M$$

$$\sum_{i \in N} (x_{i,2n+3}^k + x_{i,2n+4}^k) = 1 \quad \forall k \in M$$

$$\sum_{j \in N \cup D} \sum_{k \in M} x_{2n+2,j}^k = IDV$$

$$\sum_{j \in N \cup D} x_{2n+1,j}^k = \sum_{j \in N \cup D} x_{j,2n+3}^k \quad \forall k \in M$$

$$P_d^k = 0 \quad \forall d \in D^+, k$$

$$\sum_{i \in N} x_{ij}^k = 1 \rightarrow P_i^k + d_{ij} \leq P_{n+i}^k \quad \forall i \in N^+, k \in M$$

$$x_{ij}^k = 1 \rightarrow P_i^k + d_{ij} \leq P_j^k \quad \forall i \neq j \in N \cup D, k \in M$$

$$P_i^k \leq DT_i \quad \forall i \in N \cup D^+$$

$$P_d^k \leq L_k \quad \forall d \in D^-, k$$

$$w_d^k = 0 \quad \forall d \in D^+, k$$

$$x_{ij}^k = 1 \rightarrow w_i^k + s_i \leq w_j^k \quad \forall i \neq j \in N \cup D, k \in M$$

$$w_i^k \leq 2 \quad \forall i \in V \cup D, k$$

$$v_d^k = 0 \quad \forall d \in D^+, k$$

$$x_{ij}^k = 1 \rightarrow v_i^k + t_i \leq v_j^k \quad \forall i \in N \cup D^+, j \in D^-, k \in M$$

$$v_i^k \leq Q_k \quad \forall i \in V \cup D, k$$

$$x_{ij}^k = \{ 0, 1 \}$$

$$z_i^k = \{ 0, 1 \}$$

$$\forall i \neq j \in V \cup D, k \in M$$

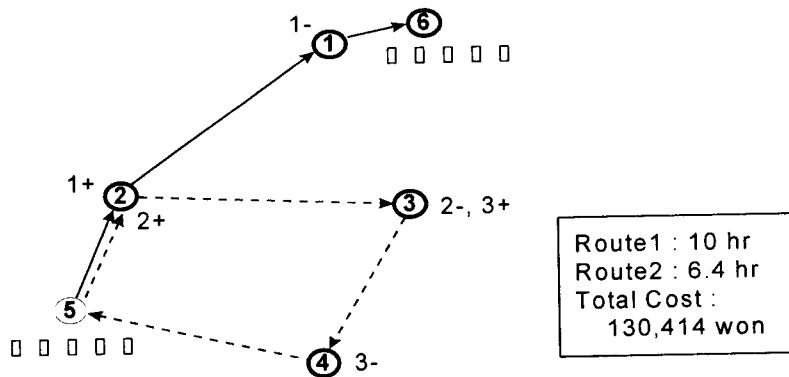
$$\forall i \in N^+, k \in M$$

본 논문에서 수립한 모형은 기존의 연구들에서 나타나는 Pickup and Delivery 모형과 비슷한 유형을 가지고 있지만, 자세히 살펴보면 몇 가지 점에서 차이가 있다. 가장 큰 차이점은 Pickup and Delivery 문제에서처럼 수송요구가 모두 차량(차량경로)에 배정되는 것은 아니라는 점이다. 또한, 모든 수송요구를 서비스하고 단일데포로 차량이 모두 회차해야 하는 것을 제약으로 하는 Pickup and Delivery 문제로는 본 논문의 대상업무에서 고려되어야 하는 1일 1회 왕복이 불가능한 화물을 처리할 수 없었다. 따라서 실제로는 하나의 데포만 존재하지만 최대 차량경로 길이의 제약을 위반하는 수송요구를 고려하기 위해 가상데포의 개념을 도입하여, 각 차량이 중앙데포나 가상데포에서 출발하여 일과를 마친 후 다시 두 지점으로 되돌아가도록 모형을 구성하였다. 이 가상데포의 도입으로 실제문제에서 1일 1회 왕복이 불가능한 수송수요를 정수계획모형으로 표현할 수 있었다.

3.2 모형의 타당성 검증

본 연구에서 수립한 모형은 수송요구와 차량수가 증가함에 따라 문제의 규모 즉, 제약식과 변수의 수가 매우 커지게 된다. 따라서 본 모형의 타당성을 검증하기 위해서 실제 문제를 대폭 축소하여 모형에 적용하여, 그 타당성을 분석하였다.

<그림 2> 모형의 검증 결과



4. 탐색적 해법 및 적용사례

본 장에서는 담당자의 직관이 아닌 계량적인 방법으로 실제 업무에서 운영계획을 수립할 수 있도록 하기 위해 실시간 내에 해를 구할 수 있는 탐색적 해법을 제안한 하였다. 여기서 제안된 탐색적 방법의 절차는 크게 두단계로 나누어질 수 있는데, 실행가능경로 구성 단계와 경로 개선단계가 그것이다. 실행가능경로 구성단계에서는 첫째, 세 가지 유형의 구성 가능한 경로들 중에서 하나의 화물을 포함하는 최소비용의 초기 가능경로를 구성한다. 둘째, 구성된 초기 가능경로에 배정 가능한 화물들 중에서 총경로비용을 최소화하는 화물을 선택한다. 셋째, 선택된 화물을 가능경로 상의 적당한 위치에 삽입한다. 초기 가능경로의 총 수송시간이 1일 작업시간을 초과하지 않는 동안 계속 화물을 선택하고 삽입하는 과정을 반복한다. 삽입 가능한 화물이 없으면 생성된 경로를 차량에 할당한다. 모든 차량에 경로가 할당될 때까지 반복하는데, 모든 차량이 할당된 후에도 경로에 삽입되지 못하고 남아있는 화물은 용차에 배정한다. 이렇게 배정된 차량의 경로와 용차에 할당된 화물의 set은 하나의 실행가능해가 된다.

경로 개선단계는 다시 용차와 자차간의 수송요구 교체, 서로 다른 경로상의 수송요구 교체, 동일 경로내의 수송요구 교체의 세단계로 구분된다. 용차와 자차간의 수송요구 교체를 중심으로 설명하면 첫째, 실행가능해를 변형하는 과정에서 총수송비용을 감소시켜 더 나은 경로를 구성한다. 첫째, 용차에 할당된 화물들을 용차비용이 높은 순서로 정렬한다. 둘째, 남은 용차화물중에서 가장 비용이 높은 화물을 선택한 후, 각 차량의 경로에 있는 화물들과 교체하여 교체가능여부와 총비용의 감소여부를 판단한다. 셋째, 교체 가능한 화물들 중에서 가장 비용감소가 많은 화물의 자리에 용차에 할당되었던 화물을 삽입하고, 교체된 화물은 용차에 할당한다. 넷째, 더이상의 교체가능한 화물이 없을 때까지 용차에 할당된 화물과 자차에 할당된 화물의 교체를 반복한다. 이와 비슷한 절차로 서로 다른 경로상의 수송요구 교체와 동일 경로내의 수송요구 교체도 이루어 진다.

제시한 해법의 실효성을 검증하기 위하여 현업 부서의 실제 운영계획 자료를 이용하여 탐색적 해법의 해를 구하고 실무부서의 운영계획결과와 비교하였다. 실무 부서에서는 정보의 데이터베이스화와 처리과정의 전산화가 이루어지지 않은 상태에서 운영계획을 수립하므로, 탐색적 해법의 적용에 필요한 자료를 모두 구할 수는 없었다. 따라서 실제 데이터를 구할 수 없는 부분은 임의로 산정한 후, 실무에서 쓰이는 값들과 비슷한 수치를 나타내도록 조정하였다. 그리고 H사의 1일분 운행계획 컨테이너를 대상으로 하여 탐색적 해법을 적용하였다.

<표 1> 차량 운영계획의 결과 비교

(단위 : 대)

	총수송수요	총소요차량	가용차량수 (중앙데포)	용차
실제운영결과	124 개	124	47	22
해법적용시	144 개	98	47	3

* 참고 : 해법적용시에는 시내수송수요 20개를 추가로 수송수요에 포함시켰다.

<표 1>에 정리된 컨테이너들을 수송하기 위한 운영계획을 수립한 결과 실제 업무에서는 장거리 화물 127개를 수송하기 위한 소요차량을 124대로 산정하였으나 탐색적 해법에서는 147개(서틀지원물량 20개 포함)의 화물에 대한 소요차량을 98대로 산정하였다. 또한 실제 운영계획에서는 용차가 22대로 배정되었으나 탐색적 해법의 결과에서는 장거리 화물 1개(재송CY → 구미)와 단거리 화물 2개만이 용차에 배정되어 3대의 용차를 사용하였다. 이러한 결과는 작업시간이나 수송시간을 산정하는 방법의 차이에 의한 부분도 일부 포함되었겠지만, 그것보다는 탐색적 해법에서는 실제 업무에서 고려하지 못하는 운행중인 차량에도 화물을 배정한다는 점과 장거리와 단거리의 연계수송이 소요차량 대수를 감소시키는 큰 원인이라고 판단된다. 또한, 탐색적 해법에서 도출된 경로들을 보면, 1~2회의 장거리 화물에 대한 왕복수송 후에는 물량을 배정하지 않는 실제 업무방법에 비해 장거리 수송을 하고 난 후에 시내물량을 처리해 줌으로써 차량의 운영효율이 높게 나타났다.

한편, 본 논문에서는 실제 장거리 부서와 단거리 부서의 업무를 통합하였을 경우에 탐색적 해법을 이용하여 전체 물량에 대한 운영계획의 수립여부를 검토하기 위하여 임의로 만든 컨테이너 정보를 이용하여 물량의 수를 증가시킬 때 수행시간을 분석해 보았다. 그 결과 다음의 <표 2>에서와 같이 수송수요 500개, 차량 150대 정도가 있는 실제업무에서도 수행 결과를 이용할 수 있을 정도로 수행시간이 짧게 나타났다. 그리고 제안된 탐색적 해법을 부분적으로 적용할 경우 동적인 상황에서도 사용이 가능하다.

〈표 2〉 탐색적 해법의 수행시간 분석

(단위 : 초)

수송 수요			보유 차량수		자차수	용차수	계산시간(초)	
시 내	시 외	총물량	중앙데포	가상데포			단계1	단계2
25	25	50	9	6	15	8	5	5
50	50	100	18	12	30	16	25	28
75	75	150	27	18	45	22	59	64
100	100	200	36	24	60	21	87	41
125	125	250	45	30	75	29	127	83
150	150	300	54	36	90	34	189	114
175	175	350	63	42	105	41	266	202
200	200	400	72	48	120	47	345	265
225	225	450	81	54	135	53	419	316
250	250	500	90	60	150	56	510	311

5. 결 론

국제물류의 최적화를 위해서는 수송 전과정의 효율화와 더불어 통합적인 관리가 필요한데, 본 연구에서는 여러 가지 수송과정 중에서 특히 내륙수송, 그 중에서도 컨테이너의 공로수송에 초점을 맞추었다. 직접 공로수송을 담당하는 운송업체의 입장에서 차량의 운행경로선정 및 스케줄링 방법들을 고찰한 결과, 실무 부서의 차량운영계획은 주로 화주의 요청에 의존하는 수송일에 운송계획인의 직관에 의해 수행되고 있는 것을 알 수 있었다. 또한, 운송되어야 하는 화물의 정보가 데이터베이스화 되어있지 않아 차량의 공차율을 줄이기 위해 수송일을 조정한다는 것이 불가능한 상태였다.

이러한 현실문제들을 감안하여 한가지 대안으로 차량의 운영계획을 계량화하여 경험에 의한 것이 아닌 정확한 계산에 의해 운영계획을 수립하는 방안을 제시하였다. 먼저 차량운영계획 수립절차를 분석하여 계량적 모형을 수립하였는데, 수립된 모형은 문제의 규모가 커질 경우(현실 문제를 고려할 경우)에는 의미있는 시간내에 최적해를 도출하는 데에 어려움이 있으므로 소규모 문제를 모형에 적용하여 모형의 타당성을 검증하였다. 그리고 실제 문제에 대해 의미있는 시간내에 해를 제시하기 위하여 탐색적 알고리즘을 개발하고, 이를 적용하여 문제를 분석하였다. 제안된 탐색적 기법은 실제규모의 문제에 대해서도 짧은 시간내에 적절한 해를 도출하였으며, 실무에 적용할 경우, 실제상황에서는 분리되어 운영되는

부서의 업무를 통합함으로써 업무의 효율을 높이고, 계량적인 방법으로 컴퓨터에 의해 운영계획을 수립하게 됨으로써 정확한 운영계획을 제시할 수 있었다.

그러나 본 논문에서 제안한 탐색적 모형은 부분적으로 적용할 경우 동적상황에서 적용 가능하기는 하지만, 개발단계부터 동적상황을 가정한 것은 아니다. 따라서 동적인 상황을 적절히 반영하여 운영계획을 수립할 수 있는 방안에 대한 연구가 뒤따라야 하며, 아울러 일정기간의 물량을 파악한 후, 그 자료를 바탕으로 적절하고 효과적인 컨테이너 수송계획을 수립하여야 한다. 또한 실무적인 측면에서는 적절한 지점에 ICD의 수를 늘여 설치하고 장비를 확충하는 것이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] H. Psaraftis(1983), "An Exact Algorithm for the Single Vehicle Many-to-Many Dial-a-Ride Problem with Time Windows", *Trans. Sci.* 17, 351-357.
- [2] H. Psaraftis(1988), "Dynamic Vehicle Routing Problems", in *Vehicle Routing: Methods and Studies*, B. L. Golden and A. A. Assad (eds.), North-Holland, Amsterdam.
- [3] J. Desrosiers, Y. Dumas and F. Soumis(1986), "A Dynamic Programming Solution of the Large-Scale Single-Vehicle Dial-a-Ride Problem with Time Windows", *Amer. J. Math Management Sci.* 6, 301-325.
- [4] L. F. Frantzeskakis and W. B. Powell(1990), "A Successive Linear Approximation Procedure for Stochastic, Dynamic Vehicle Allocation Problems", *Trans. Sci.* 24, 40-57.
- [5] M. W. P. Savelsbergh and M. Sol(1995), "The General Pickup and Delivery Problem", *Trans. Sci.* 29, 17-29.
- [6] M. L. Fisher, H. Jiegang and T. BaoXing(1986), "Scheduling Bulk-Pickup-Delivery Vehicles in Shanghai", *Interfaces* 16, 18-23.
- [7] M. L. Fisher, H. Jiegang and T. Bao-Xing(1995), "A Network Flow Based Heuristic for Bulk Pickup and Delivery Routing", *Trans. Sci.* 29, 45-55.
- [8] W. B. Powell(1991), "Optimization Models and Algorithms: An Emerging Technology for the Motor Carrier Industry", *IEEE Trans. Vehicular Tech* 40,

68-80.

- [9] Y. Dumas, J. Desrosiers and F. Soumis(1991), "The Pickup and Delivery Problem with Time Windows", *European J. Oper. Res.* 54, 7-22.
- [10] 태동인, 하동우, 김동주(1994), "국제화물유통체계의 합리화 전략", 해운산업연구원.
- [11] 한국컨테이너 부두공단(1996), "컨테이너 화물 취급 및 유통추이 분석".
- [12] 한진교통물류연구소(1996), "교통물류연감".
- [13] 해운산업연구원(1991), "우리나라 수출입화물의 수송체증비용 추정".
- [14] 해운산업연구원(1992), "대량화물유통체계 개선에 관한 연구" 최종보고서.
- [15] 해운산업연구원(1993), "대량화물유통체계 종합개선방안 연구" 최종보고서.
- [16] 해운산업연구원(1993), "물류 EDI Network 기본 설계" 최종보고서.
- [17] 해운항만청(1996), "해운항만통계연보".



