

공 컨테이너를 고려한 컨테이너 내륙수송에서의 차량배차문제*

윤원영** · 안창근** · 최용석**

A Truck Dispatching Problem in the Inland Container Transportation with Empty Container

Won-Young Yun** · Chang-Geun Ahn** · Yong-Seok Choi**

■ Abstract ■

In the container transportation of inland depots the empty container is an important issue. The truck dispatching problem in this paper is considered under restriction about empty containers. When a full container arrives in a depot by truck, after unloading operation the full container is changed to an empty container. After loading operation an empty container is changed to a full container. We suggest an integrated approach to the problem of simultaneously managing empty truck and container movements. We would like to find the truck dispatching method minimizing empty truck movements and empty container movements.

In this paper, a mixed integer programming model is developed to obtain the optimal truck dispatching in container transportation and heuristic is developed to give a good solution in much shorter time. The numerical examples are studied and the proposed heuristic is also compared with the result of numerical examples.

1. 서 론

차량 일정 문제(Vehicle Scheduling Problem)는 Lenstra & Rinnooy[16]가 지적했듯이 전형적인 NP-

hard부류에 속하는 문제로 아직까지 이 문제에 대한 적절한 최적 해법이 발표되어 있지 않으며, 이 분야의 연구는 지난 30년 동안 국내외에서 많은 연구가 수행되어 왔다.

* 본 연구는 한국과학재단 지정 동아대학교 지능형통합항만관리연구센터의 지원에 의한 것입니다.

** 부산대학교 산업공학과

차량 일정 문제 중에서 컨테이너 수송분야는 해상, 항공, 차량, 철도의 수송 형태로 구분하여 수송 문제를 지적한 Frankel[11]의 1968년 연구이후 지난 30년간 지속적으로 연구되어 온 분야이다. 특히 육상 수송에서 차량에 의한 컨테이너 수송은 그 비중이 크므로 다양한 연구가 이루어져 왔다. 이러한 유형의 문제에 대한 모형의 분류기준은 주로 Bodin & Golden[6]의 차량경로 및 일정문제 분류 기준을 따르고 있으며, 이 분류에 따라 김동희, 이창호, 김봉선[2]의 연구에서는 컨테이너 수송문제를 다수차량(multiple-vehicle), 동일기능(homogeneous), 다수지점(multiple-depot), 확정적모형(deterministic), 노드에서 수요발생(at node), 무방향성(undirected), 동일용량차량(all the same vehicle capacity), 적하지점제약(pickups and deliveries), 공차운행최소(minimize total deadheading)와 같은 특성을 갖는 컨테이너 화물수송을 위한 차량배차 문제(truck dispatching problem)로 구분하였다. 따라서 차량경로 및 일정계획문제는 차량경로문제와는 달리 운영 수준의 문제로서 각 차량에 운행을 지시하기 위한 계획이기 때문에 “시간”이라는 요소가 포함되어 있고 실시간으로 의사결정을 하여야 한다는 점이 다르다[1].

컨테이너 화물의 내륙수송문제는 철도수송차량, 화물차 컨테이너, 컨테이너를 실을 수 있는 샷시, 트레일러 등의 배차문제를 다루며, 컨테이너 내륙수송에서와 같이 공 차량(empty vehicle)과 공 컨테이너(empty container)를 동시에 고려해야 하는 문제이다. 공 컨테이너의 수송문제를 다룬 대표적인 연구는 Crainic, Gendreau, & Dejax[8]를 들 수 있으며, 이 연구에서 공 차량과 공 컨테이너의 관리에 관한 수송 시스템의 문제구조와 특성들을 분류하여 단일 화물에 대한 수리적 모형을 다루고 있다. Dejax & Crainic[9]의 연구에서는 화물운송에서의 공 차량 이동을 다루고 있으며, 공 차량과 적 차량의 이동에서 통합관리의 장점을 논하고 있으며, 공 차량의 이동에 대한 수요는 불균형한 적 차량의 이동을 야기시켜 단일 차량을 할당하는 배

차 모형에서 두가지 형태의 이동을 통합하려는 시도가 운영수준에서 일어난다고 지적하였다. Gao[12]는 터미널에서 하역된 공 컨테이너를 효율적으로 재사용하여 입대 컨테이너를 줄임으로서 자본비와 운영비용을 최소화하는 방안을 연구하였다. 공 컨테이너의 부족을 예측하고 예측된 결과를 바탕으로 공 컨테이너를 재배치하는 계량모형을 개발하였다. 특히 Potts[17]의 연구에서는 오스트레일리아의 공 컨테이너 수송문제를 standard out-of-kilter algorithm으로 풀었으며, White[18]는 이 문제를 컨테이너에 위치를 결정해 주고 수요와 시평(time horizon)이 알려진 것으로 가정된 후 동적 선적 네트워크(dynamic transshipment network)로 간주하여 공간-시간 네트워크(space-time network)로 구축하여 작은 크기의 수치예제를 out-of-kilter algorithm으로 풀었다. 오양택, 신재영[3]은 해상 컨테이너 운송시스템에서 운영적 관점으로 컨테이너 관리 문제를 다루는 계량적 모형을 제안하였으며, 이 모형으로 항만간의 공 컨테이너의 재배치를 고려함으로써 상당한 비용절감 효과가 있다는 것을 보였다. 윤원영, 최용석[4]의 연구에서는 컨테이너 화물 수송모형에서 다수의 수요/공급지, ODCY, 그리고 컨테이너 터미널간의 컨테이너 수송문제에 대한 시뮬레이션 모델을 개발하여 컨테이너 수송 문제를 다루었다. 이 연구에서 다수의 수요/공급지와 터미널간의 컨테이너 수송을 위한 운영문제를 다루었으나 차량은 무한히 주어지는 것을 가정하였다.

본 연구에서는 컨테이너 내륙수송에서의 배차 계획 문제를 다루며, 이 문제는 다음과 같은 특성을 가진다. Full Load PDP(pickup and delivery problem)유형의 차량경로 및 일정 문제로서 여러 개의 데포(수요/공급지)를 가지며, 차량에 대해서는 용량제약(한번에 1개의 컨테이너만 수송), 각종 시간제약, 차량대수 제약 등이 주어진다. 그리고 컨테이너에 대해서는 수요지점(delivery depot) 및 공급지점(pickup depot), 수요지 요청시간 등을 가진다. 따라서 본 연구에서는 다수의 차량과 다수의

지점을 가지면서 방문시간에 대해서 제약을 가지는 컨테이너 터미널에서의 배차 계획 문제로써 공 차량 이동 및 공 컨테이너 이동시간의 최소화를 위한 배차 계획을 혼합정수계획법으로 모형화하여 최적값을 구하고자 한다. 본 연구와 기존 연구와의 가장 큰 차이점은 공 컨테이너의 이동에 관한 것이며, 모든 화물이 컨테이너 단위로 이동하여야 하므로 수요/공급지에서 화물을 실을 때는 그곳에 그 수요이상의 공 컨테이너가 있어야 하며, 만일 공 컨테이너가 부족할 시에는 공 컨테이너가 충분한 다른 지역에 가서 공 컨테이너를 가지고 와서 공급하여야만 수송이 가능하게 된다.

본 연구는 제2장에는 컨테이너 내륙수송에서 차량배차문제를 설명하고, 제3장에서는 차량배차계획을 위한 혼합정수계획 모형과 확장모형을 소개한다. 제4장에서는 개발된 모형을 이용하여 수치예제의 최적해를 구하고, 제5장에서는 휴리스틱을 이용하여 동일한 수치예제에 대한 해를 구한 후 그 결과를 비교, 분석한다. 제6장에서는 본 연구의 결론과 추후 연구과제를 제시한다.

2. 컨테이너 내륙수송문제

컨테이너 내륙수송은 항만 컨테이너 터미널(port container terminal)에서 수출 컨테이너의 선적(loading)과 수입 컨테이너의 양하(unloading)가 이루어져 컨테이너 터미널이 컨테이너의 수요와 공급의 중착점이 되며, 컨테이너 터미널의 임시 비퍼 기능과 빈 컨테이너의 적재 기능을 담당하는 ODCY(off-dock container yard)도 컨테이너 터미널의 역할을 담당한다. 따라서 컨테이너 내륙수송을 위한 차량배차는 컨테이너 터미널과 ODCY에서 내륙수송을 위한 차량의 배차가 이루어지며, 컨테이너의 화주가 위치한 내륙의 거점 도시들이 컨테이너 화물의 수요/공급지가 된다. 그러므로 항만 컨테이너 터미널 또는 ODCY를 컨테이너 화물수송을 위한 차량배차 터미널로 간주할 수 있다. 수요/공급지는 전국의 7대 권역인 수도권, 강원권, 중부권, 경북권,

경남권, 호남권, 부산권 등이 되며, 이 지역별로 컨테이너의 수요와 공급 수송단위가 결정된다.

컨테이너 물량의 수송을 위한 차량과 컨테이너의 상태에 대한 특성은 다음과 같다.

수출입 컨테이너 물량은 터미널과 수요/공급지간에는 적 컨테이너 상태로 차량에 의해 이동되며, 수출입 컨테이너 물량이 터미널을 제외한 나머지 수요/공급지들간에는 이동하지 않는다. 따라서 적 컨테이너 이동은 터미널과 수요/공급지간의 차량 이동에서만 발생한다.

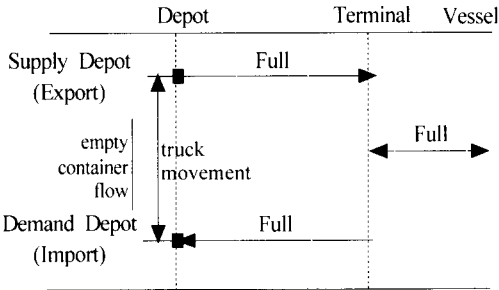
공 컨테이너의 이동은 수출입 물량의 이동과는 달리 모든 수요/공급지들간에 발생할 수 있으므로 수요/공급지간에는 공 차량 이동과 공 컨테이너 이동이 발생하며, 터미널과 수요/공급지간에는 공 차량으로 가서 공 컨테이너를 가져 올 수도 있고 적 컨테이너 상태로 가서 공 컨테이너 또는 적 컨테이너를 싣고 올 수도 있다. 특히 차량이 적 컨테이너를 실은 상태로 공급지에 가서 다시 그 공급지가 수요지가 되어 적 컨테이너를 다시 싣고 돌아오는 경우는 귀로화물(backhaul)을 처리하는 경우이다.

터미널에서 다른 수요/공급지로 수송된 적 컨테이너는 차량에서 컨테이너를 내리면 바로 공 컨테이너로 사용할 수 있으며, 차량은 빈 상태가 되어 가용한 차량이 된다. 또한 공 컨테이너에 수출될 물량을 실으면 적 컨테이너로 컨테이너 상태가 변화되며, 차량에 이 컨테이너를 싣으면 적 컨테이너가 출발 가능하게 되어 적 차량이 된다.

따라서 차량의 상태는 다음 <표 1>과 같이 7가지의 상태 중 하나가 되며, 컨테이너 내륙수송문제의 상황은 Lai[15]의 컨테이너 운송 경로 정의를 기준으로 정의하면 [그림 1]과 같이 터미널(terminal)과 수출을 위한 공급지점(supply depot), 수입을 위한 수요지점(demand depot)이 주어질 때, 각 수요/공급지에는 초기에 차량과 공 컨테이너를 보유하고 있으며, 수송해야 할 컨테이너 물량이 주어진다. 또한 차량의 이동시간이 각 수요/공급지들간에 주어진다. 수요/공급지는 컨테이너 운송 목적에 따라 시간대별로 수요/공급지의 상태가 수요지점에서

<표 1> 차량의 7가지 상태

상태 종류	상태 설명	차량 상태
1	적 컨테이너를 싣고 공급지에서 출발하는 상태	적 차량
2	적 컨테이너를 싣고 수요지에 도착하는 상태	적 차량
3	공 컨테이너를 싣고 공급지에서 출발하는 상태	적 차량
4	공 컨테이너를 싣고 수요지에 도착하는 상태	적 차량
5	공 차량으로 차량 수요지로 출발하는 상태	공 차량
6	공 차량으로 차량 수요지에 도착하는 상태	공 차량
7	대기(그 전시간에 도착했으나 나가지 못한 경우)	공 차량



[그림 1] 컨테이너 내륙수송문제의 상황

공급지점으로 또는 공급지점에서 수요지점으로 바뀐다.

3. 배차계획 모형

본 연구는 터미널과 나머지 수요/공급지간의 컨테이너 내륙 수송에서의 배차 계획에 대한 해법을 찾고자 하며, 배차 계획을 하는 데는 여러 가지 방법이 사용 가능하다. 먼저 정수 계획법(integer programming)을 들 수 있고[14], 다음으로 동적 계획법(dynamic programming), meta heuristic 기법인 tabu search[13], genetic algorithm, simulated annealing, 그리고 이외에도 여러 가지 발견적 기법들이 소개되고 있다. 최근에는 tabu search로 VRP(vehicle

routing problem)문제에 접근하는 많은 논문들이 발표되고 있다[7, 10]. VRP문제에 대한 정수 계획법에 대한 연구는 이미 그 결과를 제시하였으나 아직까지 최적값을 찾을 수 있는 정수 계획법에 대해서는 연구 결과가 제시되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 배차계획의 최적값을 구하기 위한 혼합정수계획법 모형을 소개한다.

3.1 목적 함수와 제한 조건

컨테이너 수송 문제는 공급지점과 수요지점이 주어진 다수의 컨테이너 물량을 정해진 납기를 지키면서 일정한 수의 트럭으로 수송해야 하는 문제이므로 컨테이너 수송 목적의 다수 차량이 다수 지점에 있는 화물을 수송하면서 아래와 같은 두 가지 목적함수를 가진다.

- ① 공 차량 이동의 최소화
- ② 공 컨테이너 이동의 최소화

위의 두가지 목적함수를 만족시키면 결국 차량의 총 운행거리를 최소화하는 것이다. 그러나 적 컨테이너 차량의 이동(물량 수송)은 반드시 있어야 하는 것으로 미리 정해진 것이다. 따라서 공 차량 이동과 공 컨테이너 이동을 최소화하는 것이 총 운행거리를 최소화하는 것이 된다.

본 연구의 의사 결정 변수는 각 차량의 시간대별 운행 경로 및 상태가 된다. 각 차량의 시간대별 운행경로를 구하고 각 운행경로에서 그 때의 상태는 <표 1>과 같이 7가지로 나뉜다. 1) 적 상태(컨테이너를 싣고 출발하는 상태), 2) 공 차량으로 출발하는 상태(화물을 싣지 않고 출발하는 상태), 3) 공 컨테이너를 싣고 출발하는 상태, 4) 컨테이너를 싣고 도착하는 상태, 5) 공 차량으로 도착하는 상태(화물을 싣지 않고 도착하는 상태), 6) 공 컨테이너를 싣고 도착하는 상태, 그리고 7) 대기하는 상태, 총 7가지 상태를 의사결정변수로 한다.

본 연구에서의 제약식은 크게 다음의 세가지이다.

- ① 운반 시간에 제약을 가지는 물량 수송을 만

족해야 한다.

- ② 최대 운행시간에 대한 제약을 가진다.
- ③ 운반용기(컨테이너)에 대한 제약을 가진다.

즉, 정해진 시간에 수요/공급지의 물량을 수송해야 하고, 그 수송을 위해서는 운반 용기(컨테이너)가 있어야 한다. 또한 각 차량의 최대 운행 시간 내에 각 차량의 정해진 위치에 돌아와 있어야 한다는 제약을 만족해야 한다.

이러한 제약과 함께 배차계획모형에서의 가정은 다음과 같다.

- 1) 수요는 미리 정해지는 확정적 수요를 가정한다.
- 2) 40피트 컨테이너만 고려하며, 20피트 컨테이너는 고려하지 않는다. 즉, 한번에 한 단위의 컨테이너만 수송한다.
- 3) 동일 차량에 대해서 한 번 이상의 순회가 허용된다.
- 4) 수요는 컨테이너의 배수 개로 있다. 수요는 2.5, 또는 0.7이라든지 하는 상황이 없이 항상 정수 개로 존재한다.
- 5) loading/unloading에 들어가는 시간은 고려하지 않는다. 차량이 도착하면 그 차량은 동시간에 바로 출발 할 수 있다.
- 6) 운전자의 휴식시간(취침 시간 포함)은 고려하지 않는다.
- 7) 모든 시점에서 나가야 하는 물량은 그 시점에 그 지점에 있는 총 차량 대수를 넘을 수 없다.
- 8) 모든 시점에서 나가야 하는 물량은 그 시점에서 사용할 수 있는 공 컨테이너 개수를 넘을 수 없다.
- 9) 모든 물량은 나가는 시점을 기준으로 본다. 실제 물량은 나가도 되는 시작시간부터 마감시간(closing time) 동안의 시간창(time window)을 가지고 있으나 본 연구에서는 시간창을 고려하지 않는다. 따라서 모든 물량은 정해진 시점에 나가는 것으로 정의한다.
- 10) 터미널과 수요/공급지간에는 물량이 컨테이너 상태로 이동하지만 터미널을 제외한 각 수요/

공급지간의 물량의 이동은 공 컨테이너 이동이나 공 차량 이동만 발생한다.

- 11) 본 연구에서는 컨테이너 터미널과 컨테이너 화물을 위한 수요/공급지와 관계만 고려한다. 컨테이너 터미널에서 필요로 해서 외국에서 수입한 컨테이너는 공 컨테이너로 사용 가능하겠지만 본 연구에서는 고려하지 않는다.
- 12) 시간 단위는 수요/공급지간 이동거리의 최대 공약수 단위로 한다.

3.2 수리모형

차량배차모형에서 사용되는 첨자, 계수, 그리고 결정변수의 부호는 다음과 같다.

첨자

- $i = 1, \dots, I$: 공급지(차량의 출발지점)에 관한 첨자 단, $i = 1$ 은 터미널
- $j = 1, \dots, J$: 수요지(차량의 목적지)에 관한 첨자 단, $j = 1$ 은 터미널
- $k = 1, \dots, K$: 차량에 관한 첨자
- $l = 1, \dots, 7$: 차량의 상태로 총 가능한 7가지 상태를 나타낸다(<표 1> 참조).
- $m = 0, \dots, M$: 시간에 대한 첨자

계수

- d_{ijm} : m시점에 공급지 i에서 수요지 j로 수송하는 물량. 단, d_{im} 은 m시점에 공급지 i에서 터미널로 수송해야 할 물량이며, d_{1j} 는 터미널에서 공급지로 수송해야 할 물량
- $l(k)$: 차량 k의 출발지이자 계획기간 끝에는 도착해 있어야 하는 수요/공급지
- t_{ij} : 공급지 i에서 수요지 j로의 이동시간
- W : 임의의 큰 값

의사결정변수

- $R_{iklm} = 1$, 공급지가 i에서 수요지 j로 차량 k가 m시간대에 l상태이면,
 $= 0$, 그 외의 경우

e_{im} : 공급지 i 에서 m 시점에 남은 공 컨테이너 개수. 단, e_{i0} 는 공급지 i 에서 0시점의 초기의 공 컨테이너 개수

본 연구에서의 목적 함수는 공 컨테이너 이동시간과 공 차량 이동시간을 최소화하는 것이다. 공 차량이나 공 컨테이너로 출발한 경우 그때의 이동시간을 다 더하면 그 합이 공 컨테이너 이동시간과 공 차량 이동시간의 합으로 표시되어 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{m=0}^M \\ & t_{ij} [R_{ijk2m} + R_{ijk5m}] \\ & (\text{단, } i \neq j) \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)의 목적함수에 대한 제약식들은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^I [R_{i(k)k2M} + R_{i(k)k5M}] + R_{(k)k(k)k7M} = 1, \\ (k=1, \dots, K, \text{ 단, } i \neq k) \quad (2) \\ \sum_{j=1}^J [R_{(k)k(k)k0} + R_{(k)k(k)k30} + R_{(k)k(k)k60}] \\ + R_{(k)k(k)k71} = 1, \\ (k=1, \dots, K, \text{ 단, } l(k) \neq j) \quad (3) \end{aligned}$$

식 (2)와 (3)은 최장운행시간에 대한 제약이며, 식 (2)는 M시점(계획 완료 시점)에는 자기의 처음 출발 위치에 돌아와 있어야 한다는 것이다. 그 전 시간에 도착해 있으나 나가지 않으면 대기하고 있어야 한다. 따라서 M시점에 도착하든지 그 이전 시점에 도착해 계획 완료 시점에 대기하고 있어야 한다. 공 컨테이너 도착을 넣지 않은 이유는 계획 완료 시점에 공 컨테이너가 모자라서 공 컨테이너를 가지고 온다는 것은 해당 수요/공급지에 계획 완료 시점에도 나가는 물량이 있다는 것을 의미하기 때문이다.

식 (3)은 0시점에는 반드시 자기의 출발지에서 출발해야 되고, 만일 물량이 없어서 출발하지 못했으면 바로 다음 시점의 대기로 처리한다. 다음 시간대에 그곳에 도착(대기)해 있는 것으로 처리해야

만 그 위치에서 출발할 수 있다.

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^K R_{iklm} + \sum_{k=1}^K R_{1jkm} = q_{ilm} + q_{1jm}, \\ (m=0, \dots, M, i=2, \dots, I, j=1, \dots, J) \quad (4) \end{aligned}$$

식 (4)는 물량만족에 대한 제약으로 터미널을 제외한 공급지에서 터미널로 운반되는 컨테이너 물량과 터미널에서 터미널을 제외한 공급지로 운반해야 되는 컨테이너 물량을 합한 전체 적 컨테이너 물량은 터미널과 수요지의 총물동량을 만족해야 한다는 제약식이다.

$$\begin{aligned} e_{im} = e_{i(m-1)} + \sum_{k=1}^K [R_{1j2m} + \sum_{j=1}^J R_{ijk4m}] \\ - \sum_{k=1}^K [R_{iklm} + \sum_{j=1}^J R_{ijk3m}], \\ (i=2, \dots, I, j=2, \dots, J, m=2, \dots, M, \text{ 단 } b \neq i, c \neq i) \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{i1} = e_{i0} - \sum_{k=1}^K [R_{ik10} + \sum_{j=1}^J R_{ijk30}] \\ + \sum_{k=1}^K [R_{1j21} + \sum_{j=1}^J R_{ijk41}] \\ - \sum_{k=1}^K [R_{ik11} + \sum_{j=1}^J R_{ijk31}], \\ (i=2, \dots, I, j=2, \dots, J, \text{ 단, } i \neq j) \quad (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{1m} = e_{1(m-1)} + \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I R_{iklm} \\ - \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J R_{1jkm}, \\ (i=2, \dots, I, j=2, \dots, J, m=2, \dots, M) \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{11} = e_{10} - \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J R_{1jk0} \\ + \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I R_{ik11} - \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J R_{1jk1}, \\ (i=2, \dots, I, j=2, \dots, J) \quad (8) \end{aligned}$$

$$e_{im} \geq 0, \quad (i=1, \dots, I, m=0, \dots, M) \quad (9)$$

식 (5)에서 식 (9)까지는 공 컨테이너에 대한 제약이다. 식 (5)는 터미널을 제외한 나머지 수요/공급지에서 m시점에 남은 공 컨테이너 개수이다. m시점의 공 컨테이너 개수는 (그 전 시점의 남은 공 컨테이너 개수 + 적 컨테이너 도착 개수 + 공 컨테이너 도착 개수) - (적 컨테이너 출발 개수) - (공 컨테이너 출발 개수)이다. 컨테이너를 싣고 도착하

면 그 컨테이너는 공 컨테이너로 쓸 수 있다.

식 (6)은 터미널을 제외한 나머지 수요/공급지에서 1시점의 공 컨테이너 개수이다. 위의 식 (5)에서 m 이 1보다 크므로 1시점의 공 컨테이너 개수를 나타낼 수 없다. 1시점의 터미널을 제외한 나머지 수요/공급지에서의 공 컨테이너 개수는 (0시점의 공 컨테이너 개수) - (0시점의 적 컨테이너 출발 개수) - (0시점의 공 컨테이너 출발 개수) + (1시점에 적 컨테이너 도착 개수) + (1시점에 공 컨테이너 도착 개수) - (적 컨테이너 출발 개수) - (공 컨테이너 출발 개수)이다. 0시점에는 적 컨테이너 도착이나 공 컨테이너 도착이 발생할 수 없다.

식 (7)은 터미널에서의 공 컨테이너 개수이다. 수요/공급지에서 터미널로 도착하는 적 컨테이너는 바로 수출되어 버리므로 공 컨테이너로 사용할 수 없다. 반면 외국에서 터미널에 도착하는 컨테이너는 적 컨테이너 상태로 도착한다.

식 (8)은 터미널에서 1시점에서의 공 컨테이너 개수는 (0시점의 공 컨테이너 개수) - (0시점에 공 컨테이너 출발 개수) + (1시점의 공 컨테이너 도착 개수) - (1시점의 공 컨테이너 출발 개수)이다.

식 (9)는 m 시점에 남은 공 컨테이너 개수가 음수는 될 수 없다는 제약이다.

$$(1 - R_{ijklm}) \geq \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [R_{ijkim} + R_{ijk5m}] + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J R_{ijkim} + R_{ijk(m+1)} \quad (i=1, \dots, I, j=1, \dots, J, m=0, \dots, M-1, l=1, 3, 5, \text{단, } i \neq j) \quad (10)$$

식 (10)은 출발에 대한 제약이다. 식 (10)에서 만일 m 시간대에 차량이 적 컨테이너 상태로 출발하였다면($l=1$) 동일한 시간대에 그 차량은 다른 상태(공 차량 상태나 공 컨테이너 상태)로는 절대 출발할 수 없다. 또한 적 컨테이너 상태라 해도 현 위치와 목적지가 아닌 수요/공급지에서 출발하는 것은 허용되지 않고 다음 시간대에 현 위치에서 대기하지는 않는다.

본 연구의 의사 결정 변수값은 0 또는 1이다. 따

라서 A 는 하나의 출발상황, B 는 동시간대의 다른 출발 상황 또는 출발을 하지 못해 다음 시간대에 대기하는 상황이라고 하자. 만약 A 라는 상태가 1 이라면 B 라는 상태는 0이 된다는 것을 표현하면 if $A > 0$ then $B \leq 0$ 이 된다. 이 상황은 의사 결정 변수가 0 또는 1이기 때문에 가능하다. 이를 하나의 수식으로 표현하면 $(1 - A) \geq B$ 가 된다. 이 식을 설명하면 A 가 1이면 B 는 당연히 0이 된다. A 가 0이면 B 는 어떤 값이라도 상관 없다. 그래서 당연히 위의 if-then조건을 만족한다.

만일 m 시간대에 차량이 공 컨테이너 상태로 출발하였다면($l=3$) 동 시간대에 그 차량은 다른 상태(공 차량 상태나 적 컨테이너 상태)로는 절대 출발할 수 없다. 또한 공 컨테이너 상태라 해도 현 위치와 목적지가 아닌 수요/공급지에서 출발하는 것과 현 위치에서 대기하는 것은 허용되지 않는다.

만일 m 시간대에 차량이 공 차량 상태로 출발하였다면($l=5$) 동일한 시간대에 그 차량은 다른 상태(적 컨테이너 상태나 공 컨테이너 상태)로는 절대 출발할 수 없다. 또한 공 차량 상태라 해도 현 위치와 목적지가 아닌 수요/공급지에서 출발하는 것과 다음 시점에 대기하는 것은 허용되지 않는다. 따라서 식 (11)은 차량이 m 시간대에 세가지 상태(적 컨테이너, 공 컨테이너, 공 차량)중 하나로 출발하였다면 그 시간대에 그 상태가 아닌 다른 상태로, 또는 그 상태라 해도 다른 출발지에서 다른 도착지로 가는 경우 및 다음 시점에 대기하는 상황을 모두 없애는 것이다.

$$(1 - R_{ijklm}) \geq \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [R_{ijkim} + R_{ijk5m}] + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J R_{ijkim} + R_{ijk(m+1)} \quad (i=1, \dots, I, j=1, \dots, J, m=0, \dots, M-1, l=1, 3, 5, \text{단, } i \neq j) \quad (11)$$

$$(1 - R_{ijkim}) \geq \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [R_{ijkim} + R_{ijk5m} + R_{ijk5m}] \quad (i=1, \dots, I, j=1, \dots, J, m=0, \dots, M, \text{단, } i \neq j) \quad (12)$$

식 (11)은 도착에 대한 제약이다. 만일 m 시간대에 차량이 적 컨테이너 상태($l=2$)로 도착하였다면

동일한 시간대에 그 차량은 다른 상태(공 컨테이너 상태나 공 차량 상태)로는 절대 도착할 수 없다. 또한 적 컨테이너 상태라 해도 현 위치와 목적지가 아닌 수요/공급지에서 도착하는 것은 허용되지 않는다.

만일 m 시간대에 차량이 공 컨테이너 상태($l=4$)로 도착하였다면 동일한 시간대에 그 차량은 다른 상태(공 차량 상태나 적 컨테이너 상태)로는 절대 도착할 수 없다. 또한 공 차량 상태라 해도 현 위치와 목적지가 아닌 수요/공급지에서 도착하는 것은 허용되지 않는다.

만일 m 시간대에 차량이 공 차량 상태($l=6$)로 도착하였다면 동 시간대에 그 차량은 다른 상태(공 컨테이너 상태나 적 컨테이너 상태)로는 절대 도착할 수 없다. 또한 공 차량 상태라 해도 현 위치와 목적지가 아닌 수요/공급지에서 도착하는 것은 허용되지 않는다. 그러므로 식 (12)는 차량이 m 시간대에 세가지 상태(적 컨테이너, 공 컨테이너, 공 차량)중 하나로 도착하였다면 그 시간대에 그 상태가 아닌 다른 상태로, 또는 그 상태라 해도 다른 출발지에서 다른 도착지로 오는 경우를 모두 없애는 것이다. 그래서 식 (10)과 (11)에서 동일한 시간대에 차량이 도착했다가 출발할 수 있다. 이것은 loading/unloading에 들어가는 시간을 고려하지 않기 때문이다. 따라서, 같은 시간대에 차량은 한가지 상태로만 도착할 수 있고, 한가지 상태로만 출발할 수 있다.

식 (12)는 만일 m 시간대에 차량이 대기 상태이면 동 시간대에 동 차량은 어느 상태로라도 도착하지 못한다.

$$R_{ijk\bar{l}(m+1)} = \sum_{i=1}^I [R_{ij\bar{k}2m} + R_{ij\bar{k}4m} + R_{ij\bar{k}6m}] + R_{ij\bar{k}m} - \sum_{j=1}^J [R_{ijk1m} + R_{ijk3m} + R_{ijk5m}],$$

$$(i=1, \dots, I, j=1, \dots, J, m=0, \dots, M-1,$$

$$\text{단 } i \neq x, i \neq y) \tag{13}$$

$$R_{ijk\bar{l}m} = R_{ijk(l+1)(m+t_{ab})},$$

$$(k=1, \dots, K, l=1, 3, 5, m=0, \dots, M-t_{ij}, \text{ 단, } i \neq j) \tag{14}$$

식 (13)과 식 (14)는 도착과 출발에 대한 제약이다. 식 (13)은 m 시간대에 도착한 차량은 그 시간대에 현재의 위치에서 다른 곳으로 출발하거나 만일 물량이 없어서 나가지 못했으면 다음 시점($m+1$ 시점)에 거기에 대기한 것으로 처리한다. 즉, 그 시간대에 들어온 차량은 그 위치에서 출발하던지 그 위치에서 대기한다. 식 (14)는 그 전 시간대에 어떤 상태로 도착하였으나 나가지 못한 차량은 다음 시간대에는 대기하는 것으로 처리한다. 만약 A가 $m+1$ 시점의 대기상태, B가 m 시점의 도착상태(대기 포함), C가 m 시점의 출발상태라면, 이를 제약식에서 표현된 식으로 설명하면 A는 $R_{i(m+1)7\bar{i}i}$, B는 $\sum_{a=1}^I [R_{jm2ai} + R_{jm4ai} + R_{jm6ai}] + R_{jm\bar{i}i}$, 그리고 C는 $\sum_{b=1}^I [R_{jm2ib} + R_{jm3ib} + R_{jm5ib}]$ 이다. 그래서 식 (13)에서는 <표 2>와 같이 8개의 상황이 발생한다.

<표 2> 차량의 도착과 출발에 대한 제약

차량 상태			설명
A	B	C	A = B - C
0	0	0	이 상황은 당연히 성립한다.
0	0	1	이 상황은 발생하지 않는다. 즉, 도착도 하지 않았는데 출발 하는 것은 허용되지 않기 때문이다.
0	1	0	이 상황은 성립하지 않는다. 즉, 도착했는데 출발도 하지 않고 다음 시간에 대기로 처리 되지 않는 것은 없다.
0	1	1	도착하고 출발했으면 그 다음에 대기하는 것으로 처리하지 않는다.
1	1	0	도착했는데 나가지 못하면 그 다음시점에 대기로 처리한다.
1	0	1	도착도 하지 않았는데 출발하고 다음 시점에 대기로 처리 되는 상황은 없다.
1	1	1	도착했고 출발 했는데도 다음 시점에 대기로 처리되는 상황은 없다.
1	0	0	도착도 하지 않고 출발도 하지 않았는데 그 다음시점에 대기로 처리되지 않는다.

이 때 위 식에 의해서 발생할 수 없는 경우들을 없애는 것이다. 따라서 <표 2>는 이 때 발생할 수 있는 모든 경우와 이 식에 의해서 제한되는 경우들을 설명한 것이다.

식 (14)는 만일 m 시간대에 어떤 상태(적 컨테이너, 공 컨테이너, 공 차량)로 출발하였다면 이동시간 후에는 그 목적지에 그 상태(적 컨테이너, 공 컨테이너, 공 차량)로 도착하여야 한다는 제약이다.

$$W(1 - R_{ijklm}) \geq \sum_{t=1}^{t_j-1} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [R_{ijk1(m-t)} + R_{ijk2(m+t)} + R_{ijk3(m+t)} + R_{ijk4(m+t)} + R_{ijk5(m+t)} + R_{ijk6(m+t)}] + \sum_{t=1}^{t_j-1} \sum_{l=1}^L R_{ijkl(m+t)},$$

($k=1, \dots, K, m=0, \dots, M-t_j, l=1, 3, 5$, 단 $i \neq j$) (15)

식 (15)는 이동 중의 제약이며, 식 (14)에 의해 이동시간 후에는 그 목적지에 도착한 것으로 처리된다. 식 (10)에 의해 동 시간대에 다른 곳으로 다른 상태로 가는 것은 제약받는다. 또한 식 (11)에 의해 도착시간에 다른 상태로 다른 곳으로 도착하는 것은 제약받는다. 따라서 이동시간 중에 대한 제약만 해주면 된다. 이 제약을 하는 것이 식 (15)이다. 즉, 이동시간 중에는 그 차량이 다른 곳으로 출발하거나 도착하는 모든 상황이 성립하지 않는다.

$$\sum_{i=2}^I \sum_{j=2}^J \sum_{k=1}^K \sum_{m=0}^M R_{ijklm} = 0 \quad (16)$$

식 (16)은 수요지와 공급지간의 컨테이너 이동에 대한 제약으로 터미널과 나머지 수요/공급지간의 수송은 컨테이너로 수송되지만 터미널을 제외한 나머지 수요/공급지간의 이동은 컨테이너 상태로 이동하지 않는다.

3.3 모형의 확장

3.2절에서 유도된 수리 모형은 3.1절에서 제시된 가정에 기초하여 이루어진 것이다. 그러나, 가정이 다른 경우에는 유도된 제약식을 적절히 조절함으

로써 응용 가능하다고 판단된다. 예를 들면 아래와 같다.

확장모형 1 : 제약식(2)를 제거하면 최장 운행 시간에 대한 제약을 가지지 않는 경우의 모형이 된다. 또한, 만일 A라는 차량은 최장 운행 시간에 대한 제약을 가지고 B라는 차량은 최장 운행 시간에 대한 제약을 가지지 않으면 B라는 차량에 대해서는 제약식(2)를 넣지 않으면 되므로 차량에 대해서 선택적으로 제약을 줄 수 있다.

확장모형 2 : 제약식(16)을 제거하고 제약식(4)에서 모든 q_{ijm} 의 목적지와 물량을 적어주고, 제약식(5)를 아래의 제약식(17)과 같이 바꾼다.

$$e_{im} = e_{i(m-1)} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I [R_{ijk2m} + R_{ijk1m}] - \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I [R_{ijk3m} + R_{ijk4m}],$$

($i=1, \dots, I$) (17)

그리고 제약식(7)을 아래의 제약식(18)과 같이 바꾼다.

$$e_{i1} = e_{i0} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I [R_{ijk10} + R_{ijk30}] + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I [R_{ijk21} + R_{ijk41}] - \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I [R_{ijk31} + R_{ijk41}],$$

($i=1, \dots, I$) (18)

그리고 제약식(8), (9)를 제거한다. 이 경우는 모든 수요/공급지간에 물량이동(적 컨테이너 이동)이 가능하고 터미널이 없는 경우에 대한 수리 모형이 될 것이다.

확장모형 3 : 제약식(5), (6), (7), (8), (9)의 공 컨테이너에 대한 제약을 제거하면, 공 컨테이너에 대한 제약이 없는 경우의 모형이 되어 공 컨테이너가 무한히 많아서 이에 대한 고려를 할 필요가 없는 경우의 문제가 된다.

4. 수치 예제 실험

앞에서 유도된 수리 모형을 이용하여 최적 배차 계획을 구하는 실험을 최장 운행시간에 대한 제약

을 가지는 상황, 최장 운행시간에 대한 제약이 없는 상황에 대해서 수행하였다. 각각의 수요/공급지가 있고(단, 수요/공급지 1은 터미널), 차량의 대수가 주어지며, 계획시간을 9시간으로 한 경우에 대해서 물량과 공 컨테이너 개수, 각 수요/공급지간 이동 시간이 주어지는 실험조건에서 각 수요/공급지별로 계획 초기 시점에 차량이 위치해 있고, 초기에 공 컨테이너가 주어진 상태이다.

4.1절의 최장 운행시간에 대한 제약을 가지는 상황과 4.2절의 최장 운행시간에 대한 제약이 없는 상황의 실험은 CPELX라는 프로그램을 사용하여 UNIX상에서 실험을 하였다. 더 큰 문제에 대해서는 혼합 정수 계획법에 대한 프로그램의 제약상 실험을 수행하지 못하였다.

4.1 최장 운행시간 제약하의 모형(기본 모형)

최장 운행시간 제약하의 모형은 차량배차모형의

〈표 3〉 최장운행시간 제약하의 모형에 대한 실험 조건

수요/공급지	초기 보유 차량 번호	초기 보유 공 컨테이너수량	목적지까지의 운행시간		
			1	2	3
1(터미널)	1, 4	2	0	2	1
2	2	1	2	0	3
3	3	1	1	3	0

〈표 4〉 계획시점에 각 수요/공급지에서 나가야 할 물량

(단위 : 컨테이너)

이동경로 시간	1→2	1→3	2→1	3→1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	1	0	1
5	0	0	1	0
6	1	1	0	1
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0

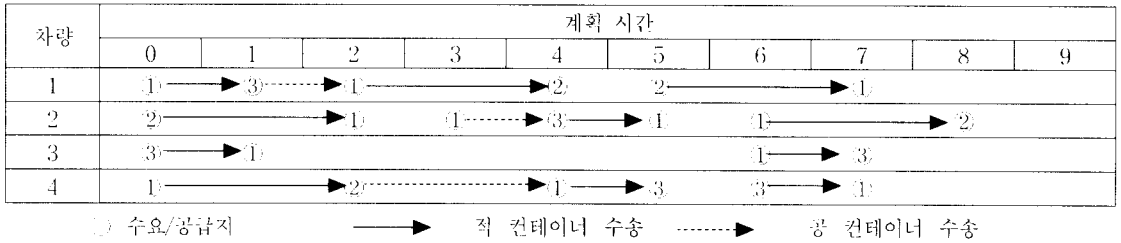
제약식 (2)를 가지는 기본모형이다. 최장 운행시간 제약하의 문제에 대한 실험 조건은 <표 3>과 <표 4>에 표시하였으며, <표 3>에서 수요/공급지는 3개이며, 초기 보유 차량번호, 초기 보유 공 컨테이너수량, 각 수요/공급지에서 목적지 수요/공급지까지 운행시간을 주었다. <표 4>에서는 각 수요/공급지에서 계획시점에 나가야 할 물량을 나타낸다.

실험에서 구한 결과값은 <표 5>, <표 6>과 같다. <표 5>는 실험에서 구한 최적해를 나타내는 것으로 각 차량의 최적이동경로를 나타낸다. 예를 들어 0시간에 차량 1에 대해서 계획된 R13110은 공급지 1(즉, 터미널)에서 수요지 3으로 차량1이 0라는 시간대에 1(적 컨테이너를 싣고 출발)이라는 상태로 터미널에서 수요/공급지3으로 출발하는 것을 나타낸다. 따라서 차량 4대에 대해서 각 시점별 배차계획을 지시하는 정보를 포함하고 있어서 <표 5>가 최적의 차량배차계획이라고 할 수 있다. 그리고 [그림 2]는 계획시간에 대해서 차량별 경로와 그 때의 차량 상태를 나타내는 배차계획이다. <표 6>은 각 수요/공급지에서 시간대별로 보유하게 되는 공 컨테이너 개수를 나타낸다.

[그림 2]의 배차계획 결과에서 공 컨테이너 수송이 4시간 발생하였으므로 식 (1)의 목적함수의 값

〈표 5〉 실험 결과 : 각 차량의 최적이동경로

차량 시간	1	2	3	4
0	R13110	R21210	R31310	R12410
1	R13121 R31131		R31321	
2	R31142 R12112	R21222	R11372	R12422 R21432
3		R11273 R13233	R11373	
4	R12124	R13244 R31214	R11374	R21444 R13414
5	R22175 R21115	R31225	R11375	R13425
6		R11276 R12216	R11376 R13316	R33476 R31416
7	R21127		R13327	R31427
8	R11178	R12228	R33378	R11478
9	R11179	R22279	R33379	R11479



[그림 2] 차량 배차 계획

<표 6> 실험 결과 : 각 수요/공급지의 시간대별 공 컨테이너 개수

시간 \ 공 컨테이너	e_{1m}	e_{2m}	e_{3m}
0	2	1	1
1	2	0	0
2	3	0	0
3	2	0	0
4	3	1	0
5	3	0	1
6	3	0	0
7	3	0	1
8	3	1	1
9	3	1	1

이 4시간인 것을 알 수 있다. 또한 <표 6>의 실험 결과로 각 공급지의 공 컨테이너 재고량이 0 이상이며, 매 시간마다의 공 컨테이너 보유 상태에 대한 정보를 얻을 수 있다.

4.2 최장 운행시간 제약이 없는 모형(확장모형 1)

최장 운행시간에 제약이 없는 상황에 대한 실험을 하기 위해서 수요/공급지의 수를 4개로 늘리고 차량의 대수도 7대로 늘려 3.3절의 확장모형 1을 만들었다. 최장 운행시간 제약하의 문제와 달라진 상황을 나타내면 <표 7>, <표 8>과 같다.

실험에서 구한 결과값은 <표 9>, <표 10>과 같다. <표 9>는 각 차량의 최적이동경로를 나타내며, 차량 4대에 대해서 각 시점별 경로와 차량상태를 나타낸다. 그리고 [그림 3]은 계획시간에 대해서 차량 7대에 대한 차량경로 및 차량상태를 나타내는 배차계획 결과를 보여준다. <표 10>은 각 수요

/공급지에서 시간대별로 보유하고 되는 공 컨테이너 개수를 나타낸다.

[그림 3]의 배차계획 결과는 목적함수 값은 공 컨테이너 수송이 1시간과 공 차량 이동이 1시간을 합한 2시간이며, <표 10>은 각 시간대별 수요/공

<표 7> 최장운행시간 제약이 없는 모형에 대한 실험 조건

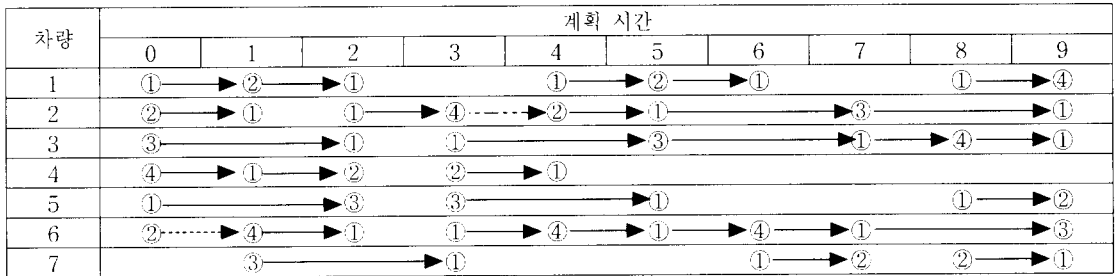
수요/공급지	초기 보유 차량 번호	초기 보유 공 컨테이너 수량	목적지까지의 운행시간			
			1	2	3	4
1(터미널)	1, 5	2	0	1	2	1
2	2, 6	3	1	0	1	1
3	3, 7	2	2	1	0	4
4	4	1	1	1	2	0

<표 8> 계획시점에 각 수요/공급지에서 나가야 할 물량

이동경로 시간	물량(단위 : 컨테이너)					
	1→2	1→3	1→4	2→1	3→1	4→1
0	1	1	0	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1
2	0	0	1	0	0	0
3	0	1	1	1	1	0
4	1	0	0	1	0	1
5	0	1	1	1	1	0
6	1	0	0	0	0	1
7	0	1	1	0	1	0
8	1	0	1	1	0	1
9	0	0	0	0	0	0

〈표 9〉 실험 결과 : 각 차량의 최적이동경로

시간 \ 차량	1	2	3	4	5	6	7
0	R12110	R21210	R31310	R41410	R13510	R24630	
1	R12121 R21111	R21221		R41421 R12411		R24641 R41611	R33771 R31711
2	R21122	R11272 R14212	R31322	R12422	R13522	R41622	
3	R11173	R14223 R42253	R11373 R13313	R22473 R21413	R33573 R31513	R11673 R14613	R31723
4	R11174 R12114	R42264 R21214		R21424		R14624 R41614	R11774
5	R12125 R21115	R21225 R13215	R13325 R31315	R11475	R31525	R41625 R14615	R11775
6	R21126			R11476	R11576	R14626 R41616	R11776 R12716
7	R11177	R13227 R31217	R31327 R14317	R11477	R11577	R41627 R13617	R12727
8	R11178 R14118		R14328 R41318	R11478	R11578 R12518		R22778 R21718
9	R14129	R31229	R41329	R11479	R12529	R13629	R21729



○ 수요/공급지 → 적 컨테이너 수송 → 공 컨테이너 수송 차량만 이동

[그림 3] 차량 배차 계획

〈표 10〉 실험 결과 : 각 수요/공급지의 시간대별 공 컨테이너 개수

시간 \ 공 컨테이너	e_{1m}	e_{2m}	e_{3m}	e_{4m}
0	2	3	2	1
1	2	1	0	0
2	2	2	1	0
3	2	1	0	1
4	2	0	0	1
5	2	0	0	1
6	2	0	0	1
7	2	1	0	1
8	2	0	0	1
9	2	1	1	2

급지에서의 공 컨테이너 보유 정보이다.

5. 발견적 기법

수치 예제를 통하여 본 연구에서 개발된 차량배차 모형을 풀 경우 최적해는 구할 수 있지만 많은 시간이 소요되므로 이 장에서는 빠른 시간내에 최적해에 가까운 해를 구하기 위한 발견적 기법의 알고리즘을 제시하며, 제시된 해법 절차를 이용하여 4장의 기본 모형과 확장모형 1의 수치 예제와 동일한 예제에 대해서 해를 구하였다.

5.1 알고리즘

본 연구에서 제시하는 모형의 해를 구하기 위한 발견적 해법의 내용은 다음과 같다.

- ① Ball, et al.[5]의 route-first 접근법을 이용한다. 기존의 연구에서 제시한 route-first 접근법은 단일 차량에 대한 배차계획에 적용이 가능하지만 이를 확장하여 다수의 차량에 대해서 배차계획을 세우기 위해 각 차량에 대해서 route-first 접근법을 사용하여 출발지-목적지(origin-destination)쌍을 구하여 배차작업단위를 구한다. 여기서 경로를 지점으로 변환하는 과정을 거치게 되며, 각 차량에 대한 작업을 배차시간순으로 정렬하면 차량의 가능 경로가 생성된다.
- ② 대안해의 생성은 Ball, et al.[5]의 greedy insertion 접근법으로 구한다. 출발지-목적지쌍으로 표현되는 각 물량을 greedy insertion 접근법으로 하나씩 경로에 삽입하는 과정을 반복하여 대안해를 생성한다.
- ③ 대안해의 향상은 배차작업단위를 경로에 삽입하는 과정을 통해서 개선되며, 이때의 삽입기준은 최근접(nearest neighbor insertion)과 최소증분시간(least insertion time)을 경로의 삽입기준으로 한다. 즉, 차량의 현재 목적지가 다음시점의 출발지가 되게 삽입기준을 적용하면 차량의 이동을 최소화할 수 있다. 따라서 차량이 귀로화물을 처리하도록 각 배차작업단위를 시간순으로 배차순서를 결정한다.
- ④ 제약을 만족하는 해는 각 차량에 대해서 배차작업 단위를 역할교환(role change)하는 과정을 거친다. 최장운행시간의 제약을 가지는 경우는 이 제약을 만족할 때까지 역할교환과정을 반복한다.
- ⑤ 각 차량에 대해서 배차계획에 대한 제약을 모두 만족하는 해가 도출되면 마지막으로 각 시점별마다 수요/공급지의 공 컨테이너 재고수준이 0이상이어야 하는 공 컨테이너에 대한

제약을 만족하는지를 확인하게 되며, 만족하지 못 할 경우 infeasible solution이 되므로 ④에서 다시 역할교환과정을 통해서 조정하게 된다. 이렇게 조정을 하게 되면 매 시점마다 각 수요공급지의 공 컨테이너량을 조사하는 것보다 계산 시간을 단축할 수 있다.

5.2 기본 모형 해법

5.1절에서 정의된 발견적 해법의 절차를 이용하여 4.1절의 기본 모형에 대한 수치 예제를 풀면 다음과 같다.

단계 1 : 각 지점을 연결하는 경로(arc)를 최소 배차작업단위로 하면 다음과 같이 네가지의 경로유형이 생성된다.

$$R_{ij} = \{ R_{12}, R_{13}, R_{21}, R_{31} \}$$

단계 2 : 각 경로별로 차량이 물량을 수송해야 하는 경우는 R_{ijklm} 에서 l 이 1인 경우이며, 각 경로별로 배차시점이 아래 <표 11>과 같이 구해지므로 R_{ijklm} 이 차량 k 에 대해서 물량수송 계획시간순으로 배차작업 단위를 정렬한다.

<표 11> 경로유형별 배차순서 결정

경로유형 배차회수	R_{12klm}	R_{13klm}	R_{21klm}	R_{31klm}
1	R_{12kl0}	R_{13kl0}	R_{21kl0}	R_{31kl0}
2	R_{12kl2}	R_{13kl4}	R_{21kl5}	R_{31kl4}
3	R_{12kl6}	R_{13kl6}		R_{31kl6}

단계 3 : 터미널과 수요공급지간의 출발지-목적지쌍을 구하면, $\{ R_{12klm} - R_{21klm}, R_{13klm} - R_{31klm} \}$ 를 쌍으로 구할 수 있으며, 터미널의 보유 차량에 대해서 R_{12klm} 이 R_{1211m} 인 경우와 R_{13klm} 이 R_{1311m} 이 되는 2가지의 대안이 가능하다. 즉, 터미널 보유 차량은 R_{12} 와 R_{13} 의 두 경로에 할당이 가능하므로 대안 1의 경우는 차량 1을 R_{12klm} 에 할당하

고 차량 4를 R_{1341m} 에 할당하고 차량 3은 수요공급지 3이 차고지이므로 R_{3141m} 경로에 할당되고 차량 2는 수요공급지 2가 차고지이므로 R_{2141m} 에 할당된다. 따라서 생성되는 2가지 대안은 다음 <표 12>와 같으며, 여기서는 대안 2에 대해서 풀도록 한다.

<표 12> 차량배차에 의해 생성된 대안

대안 1		대안 2	
차량 번호	배차순서	차량 번호	배차순서
1	R_{12110}, R_{21115}	1	$R_{13110}, R_{31111}, R_{13116}$
2	$R_{21210}, R_{12212}, R_{12216}$	2	$R_{21210}, R_{12212}, R_{12216}$
3	$R_{31310}, R_{13314}, R_{31316}$	3	$R_{31310}, R_{13314}, R_{31316}$
4	$R_{13410}, R_{31414}, R_{13416}$	4	R_{12410}, R_{21415}

단계 4: 각 경로에서 차량의 이동시간이 다르므로 각 차량별로 출발지-목적지쌍을 시간축으로 하여 표현할 경우 각 배차순서에 따라 이동시간 이상의 시간적 여유가 발생하도록 배차순서를 결정한다. 결국 m 의 값에 대해서 으뜸차순으로 배차순서가 결정되며 이 순서를 결정할 때는 각 차량의 배차순서에 따른 m 값의 차이가 t_v 값 이상이어야 한다.

단계 5: 최장운행시간의 제약이 있는 경우이므로 계획완료시점에는 차량이 출발점으로 되돌아 와야 하므로 출발지-목적지쌍에서

처음 경로의 i 값과 마지막 경로의 j 값이 일치하도록 조정한다.

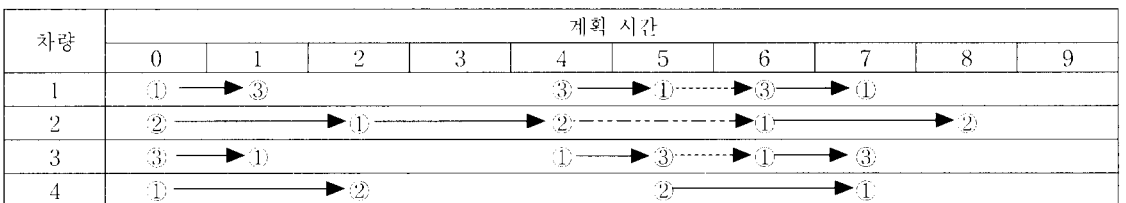
단계 6: 물량수송 경로를 제외한 나머지의 경우 차량배차작업의 삽입기준은 최근점(nearest neighbor insertion)과 최소증분비용(least insertion cost)을 계산하여 차량의 작업을 교환하게 된다. 즉 최장운행시간 제약을 만족할 때까지 역할교환과정을 반복한다. 이 과정에서 차량 2는 4시점에 차량만 수요공급지 2에서 4로 이동하는 배차가 발생하게 된다.

단계 7: 차량의 현재 목적지에서 다음 출발지가 동일한 경우 대기로 처리한다.

단계 8: 각 시점에서 공급지의 공 컨테이너 보유량을 계산하여 e_{im} 이 0이상이 되도록 한다. 만약 e_{im} 이 0이하인 경우 공 컨테이너 재고량이 0이하가 되어 infeasible solution이 되므로 단계 6의 역할교환과정을 다시 반복하게 된다.

이러한 8단계의 알고리즘 계산 과정을 거쳐서 완성된 배차계획을 간트차트형태의 도표로 표현하면 [그림 4]와 같고 각 공급지의 시간대별 공 컨테이너 개수는 <표 13>과 같이 된다.

[그림 4]에서 6시점에 차량 1과 3에 배차된 R_{13116} 과 R_{31316} 은 [단계 8]의 공 컨테이너 제약을 만족시키기 위한 역할교환과정에 의해서 교환된 배차작업단위이며, 이 역할교환의 영향으로 5시점에 차량 1과 차량 3에서 공 컨테이너 수송이 발생



○ 수요/공급지 → 석 컨테이너 수송 → 공 컨테이너 수송 ----- → 차량만 이동

[그림 4] 발견적 기법으로 계산된 차량 배차 계획

<표 13> 발견적 기법으로 계산된 각 공급지의 시간대별 공 컨테이너 개수

시간 \ 공 컨테이너	e_{1m}	e_{2m}	e_{3m}
0	2	1	1
1	2	0	1
2	2	1	1
3	2	1	1
4	2	2	0
5	1	1	1
6	3	0	1
7	3	0	1
8	3	1	1
9	3	1	1

하였다.

발견적 기법의 알고리즘으로 계산된 배차계획을 식 (1)의 목적 함수에 대입하면 목적함수의 값이 4시간이 나오며, 이 결과는 [그림 4]에서와 같이 공 컨테이너 수송 시간 2시간과 공 차량 이동시간 2시간이 포함되어 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 목적함수의 값은 4.1절에서 구한 목적함수값 4시간과 동일한 결과이지만 공 차량 이동이 발생한 점이 다르다.

5.3 확장 모형 1의 해법

5.1절에 제안된 해법 절차에 따라 4.2절의 확장 모형의 수치 예제를 풀 경우 최장 운행시간 제약이 없으므로 각 차량이 계획완료시점에 출발지점 차고지에 돌아오지 않아도 되고 차량의 수와 수요/공급지의 수가 늘어나서 더욱 문제가 복잡해지게 된다. 따라서 이를 풀기 위한 과정은 5.1절의 해법 절차에서 최장 운행시간 제약의 고려와 차량의 역할 교환과정의 반복회수가 늘어나게 된다. 그 풀이 과정은 다음과 같다.

단계 1 : 터미널을 포함한 수요공급지가 4지점인 경우 배차작업을 위한 경로유형이 다음과 같이 6가지이다.

$$R_{ij} = \{R_{12}, R_{13}, R_{14}, R_{21}, R_{31}, R_{41}\}$$

단계 2 : 각 경로별로 차량이 물량을 수송하는 경우는 R_{ijklm} 에서 l 이 1인 경우이며, 각 경로별로 배차시점이 <표 14>와 같이 구해지므로 R_{ijklm} 이 차량 k 에 대해서 물량수송 계획시간 순으로 배차작업 단위를 정렬한다.

<표 14> 경로유형별 배차순서 결정

경로유형 \ 배차회수	R_{12klm}	R_{13klm}	R_{14klm}	R_{21klm}	R_{31klm}	R_{41klm}
1	R_{12kl0}	R_{13kl0}	R_{14kl2}	R_{21kl0}	R_{31kl0}	R_{41kl0}
2	R_{12kl1}	R_{13kl3}	R_{14kl3}	R_{21kl1}	R_{31kl1}	R_{41kl1}
3	R_{12kl4}	R_{13kl5}	R_{14kl5}	R_{21kl3}	R_{31kl3}	R_{41kl4}
4	R_{12kl6}	R_{13kl7}	R_{14kl7}	R_{21kl4}	R_{31kl5}	R_{41kl6}
5	R_{12kl8}		R_{14kl8}	R_{21kl5}	R_{31kl7}	R_{41kl8}
6				R_{21kl8}		

단계 3 : 터미널과 수요공급지간의 출발지-목적지쌍을 구하면, $\{R_{12klm} - R_{21klm}, R_{13klm} - R_{31klm}, R_{14klm} - R_{41klm}\}$ 를 쌍으로 구할 수 있으며, 터미널의 보유 차량 2대의 경우 $\{R_{12}, R_{13}, R_{14}\}$ 의 세가지 경로에 배차 가능하므로 터미널 보유 차량에 대해서만 6가지의 대안이 가능하다. 여기에 수요공급지에 차량을 2대 보유한 수요공급지 2, 3의 경우까지 고려한다면 대안의 수가 많아지므로 여기서는 대안 하나에 대해서 풀어 보면, 터미널 보유차량인 차량 1을 R_{12klm} 에 할당하고 차량 5를 R_{13klm} 에 할당하며, 차량 2는 R_{21klm} , 차량 3은 R_{31klm} , 차량 4는 R_{41klm} , 차량 6은 R_{14klm} , 차량 7은 배차계획에서 처리되지 않은 물량수송을 위한 후보차량으로 할당한다. 이렇게 할당하여 생성되는 대안은 <표 15>와 같다.

단계 4 : 위의 <표 15>와 같이 각 차량별로 출발지-목적지쌍을 시간축으로 하여 표현할 경우 각 배차순서에 따라 이동시간 이상의 시간적 여유가 발생하도록 배차순서를 결정한다. 즉, 각 차량에 대해서 m 의 으뜸

<표 15> 차량배차순서 대안

차량번호	배차순서
1	$R_{12\&10}, R_{21\&11}, R_{12\&14}, R_{21\&15}, R_{12\&18}$
2	$R_{21\&10}, R_{12\&11}, R_{21\&13}, R_{12\&16}, R_{21\&18}$
3	$R_{31\&10}, R_{13\&13}, R_{31\&15}, R_{13\&17}$
4	$R_{41\&10}, R_{14\&13}, R_{41\&14}, R_{14\&17}, R_{41\&18}$
5	$R_{13\&10}, R_{31\&13}, R_{13\&15}, R_{31\&17}$
6	$R_{41\&11}, R_{14\&12}, R_{41\&14}, R_{14\&15}, R_{11\&16}, R_{14\&18}$
7	$R_{31\&11}, R_{21\&14}$

차순대로 배차순서가 결정된다는 것을 알 수 있다.

단계 5: 최장운행시간의 제약이 없는 경우이므로 계획완료시점에는 차량이 출발점으로 되돌아 오지 않아도 되므로 각 차량에 대해서 할당되지 않은 물량은 위의 표와 같이 차량 7에 할당되도록 한다.

단계 6: 물량수송 경로를 제외한 나머지의 경우 차량배차작업의 삽입기준인 최근점과 최소 증분비용을 계산하여 차량의 작업을 교환하게 된다. 이 예에서는 차량 4의 $R_{41\&10}$ 은 차량 6이 수행하고 차량 4는 공급지 2로 이동하게 된다.

단계 7: 각 시점에서 공급지의 공 컨테이너 보유량을 계산하여 e_{m} 이 0 이상이 되도록 역할교환과정을 다시 반복하여 공 컨테이너 제약을 만족하면 절차를 종료한다.

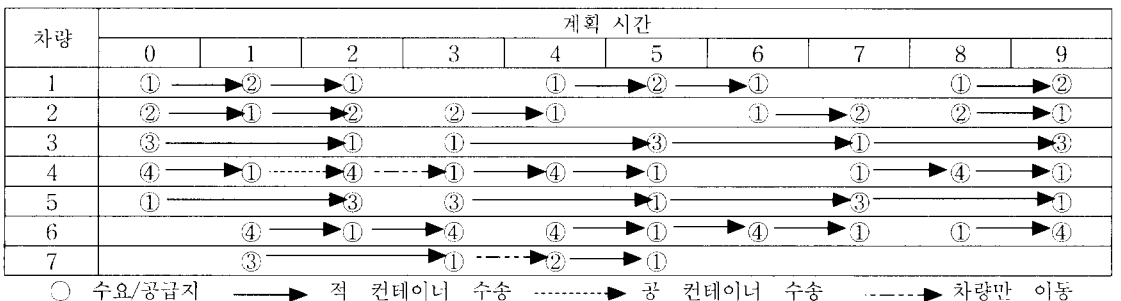
이러한 7단계의 알고리즘 계산 과정을 거쳐서

완성된 배차계획을 간트차트형태의 도표로 표현하면 [그림 5]와 같고 각 공급지의 시간대별 공 컨테이너 개수는 <표 16>과 같이 된다.

<표 16> 발견적 기법으로 계산된 각 공급지의 시간대별 공 컨테이너 개수

공 컨테이너 시간	e_{1m}	e_{2m}	e_{3m}	e_{4m}
0	2	3	2	1
1	2	2	1	0
2	1	1	1	0
3	1	2	0	1
4	1	1	0	0
5	1	1	1	0
6	1	1	0	1
7	1	2	1	1
8	1	1	0	1
9	1	2	1	2

[그림 5]의 배차계획에서 공차량 이동이 발생하는 경우는 7번 차량이 3시점에 터미널에서 수요/공급지 2로 운행하는 경우와 4번 차량이 2시점에 수요/공급지 4에서 터미널로 운행하는 경우이며, 공 컨테이너 수송은 4번 차량이 1시점에 터미널의 공 컨테이너를 수요/공급지 4로 수송하는 한 가지 경우가 발생하였다. 따라서 목적함수값은 총 3시간이며, 이 결과는 4.2절의 수치 예제에서 구한 최적해인 2시간 보다 1시간이 더 많으며, 공 차량의 이동 1시간이 추가된 것을 알 수 있다.



[그림 5] 발견적 기법으로 계산된 차량 배차 계획

6. 결 론

본 연구에서는 컨테이너 내륙수송에서의 차량의 배차계획 문제를 다수의 차량과 다수의 지점을 가지면서 방문시간에 대해서 제약을 가지는 컨테이너 터미널에서의 배차 계획 문제로 정의하여 공 차량 운행 및 공 컨테이너 이동시간의 최소화를 위한 배차 계획을 혼합정수계획법으로 모형화 하였다. 본 연구와 기존 연구와의 가장 큰 차이점은 공 컨테이너의 이동에 관한 것이며, 모든 화물이 컨테이너 단위로 이동하여야 하므로 수요/공급지에서 물건을 실을 때는 그곳에 그 수요이상의 공 컨테이너가 있어야 한다. 그러므로 만일 공 컨테이너가 부족할 시에는 공 컨테이너가 충분할 다른 지역에 가서 공 컨테이너를 가지고 와서 공급하여야만 수송이 가능하게 된다.

따라서 본 연구에서는 공 컨테이너에 대한 제약을 가지는 컨테이너 내륙수송에서의 차량의 배차계획에 대한 최적값을 찾을 수 있는 정수 계획법을 제시하였고 수치 예제를 통하여 구해진 최적 배차계획과 발견적 기법의 해법 절차를 이용하여 구해진 배차계획을 비교, 분석하였다. 그 결과 발견적 기법을 이용하여 최적값에 가까운 배차계획을 빠른 시간에 얻을 수 있었다.

그러나 본 연구에서 제시한 컨테이너 내륙수송에서의 차량배차에 대한 모형 및 발견적 기법에서는 시간창을 고려하지 않았기 때문에 실제 상황과는 조금 차이가 있을 수 있다. 그러므로 추후 연구에서는 이러한 고려사항의 해결이 필요하다. 또한 본 연구에서 제안한 모형의 확장을 통하여 다양한 상황의 차량배차문제로 확장이 가능한 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김갑환, 고창성, 신재영, "화물 수송 계획 및 운영의 정량적 모형에 대한 조사 연구", 「산업공학」, 제11권, 제1호 (1998), pp.1-9.
- [2] 김동희, 이창호, 김봉선, "컨테이너 화물수송을 위한 차량배차 의사결정지원시스템", 「대한산업공학회지」, 제23권, 제2호 (1997), pp.275-288.
- [3] 오양택, 신재영, "공컨테이너의 효율적 관리를 위한 계량적 분석", 「한국항만학회지」, 제10권, 제2호 (1996), pp.51-59.
- [4] 윤원영, 최용식, "자영 컨테이너 장치장의 평가를 위한 시뮬레이션 모델의 개발", 「한국시뮬레이션학회지」, 제6권, 제1호 (1997), pp.109-122.
- [5] Ball, M., B.L. Golden, A. Assad, and L.D. Bodin, "Planning for truck fleet size in the presence of a common carrier option," *Decision Science*, Vol.14 (1983), pp.103-120.
- [6] Bodin, L.D. and B.L. Golden, "Classification in Vehicle Routing and Scheduling," *Networks*, Vol.11, No.2 (1981), pp.97-108.
- [7] Christophe, D., Y.P. Jean, and M.R. Jean, "A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Windows," *Transportation Science*, Vol.31, No.1 (1997), pp.49-59.
- [8] Crainic, T.G., M. Gendreau, and P.J. Dejax, "Dynamic and Stochastic Models for the Allocation of Empty Containers," *Operations Research*, Vol.41, No.1 (1993), pp.102-126.
- [9] Dejax, P.J. and T.G. Crainic, "A review of Empty Flows and Fleet Management Models in Freight Transportation," *Transportation Science*, Vol.21, No.4 (1987), pp.227-247.
- [10] Eric, T. and B. Philippe, "A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Soft Time Window," *Transportation Science*, Vol.31, No.2 (1997), pp.170-186.
- [11] Frankel, E.G., "Containerized Shipping and Integrated Transportation," *Proceeding of IEEE*, Vol.56, 1968.
- [12] Gao, Q, "An Operational Approach for Con-

- tainer Control in Linear Shipping," *Logistics and Transportation Review*, Vol.30, No.3 (1993), pp.267-282.
- [13] Glover, F., "Tabu Search-Part 1," *ORSA Journal on Computing*, Vol.1, No.3 (1989), pp.190-206.
- [14] Kulkarni, R.V. and P.R. Bhave, "Integer Programming Formulation of Vehicle Routing Problems," *European Journal of Operational Research*, Vol.20 (1985), pp.58-67.
- [15] Lai, K.K., K. Lam, and W.K. Chan, "Shipping Container Logistics and Allocation," *Journal of the Operational Research Society*, Vol.46 (1995), pp.687-697.
- [16] Lenstra, J. and K. Rinnooy, "Complexity of Vehicle Routing and Scheduling Problems," *Networks*, Vol.11 (1981), pp.221-227.
- [17] Potts, R.B., *Movement of Empty Containers within Australia*, paper presented at Operations Research Society of Victoria, Melbourne, Australia, 1970.
- [18] White, W.W., "Dynamic Transshipment Network : An Algorithm and Its Application to the Distribution of Empty Containers," *Network*, Vol.2 (1972), pp.211-236.