

정적 환경의 화물컨테이너 운반 시스템에서의 차량 대수 및 경로 계획

구평희^{1*} · 장동원² · 이운식¹

¹부경대학교 산업공학과 / ²천일정기화물자동차(주) 택배기획팀

Fleet Sizing and Vehicle Routing for Static Freight Container Transportation

Koo, Pyung-Hoi¹ · Jang Dong-Won² · Lee, Woon-Seek¹

¹Department of Industrial Engineering, Pukyong National University, Busan, 608-739

²Chunil Cargo Transportation, Yangsan, 626-810

This paper addresses a fleet operation planning problem for a static freight container transportation system in which all the transportation requirements are predetermined at the beginning of a planning horizon. In the transportation system under consideration, a number of loaded containers are to be moved between container storage yards. An optimal fleet planning model is used to determine the minimum number of vehicles required. Based on the results from the optimal model, a tabu-search based algorithm is presented to perform a given transportation requirements with the least number of vehicles. The performance of the new procedure is evaluated through some experiments in comparison with two existing methods, and the it is found that our procedure produces good-quality solutions.

Keywords: static container transportation, vehicle routing, fleet sizing, tabu search

1. 서론

최근에 제품의 경쟁력에서 물류비용이 차지하는 비용이 점차 증대되고 있어 물류비용의 절감은 기업의 경쟁력 강화를 위한 중요한 요소로 작용하고 있다. 좋은 품질의 제품을 값싸게 만들었다 하더라도 물류체계에서의 비효율성은 기업의 경쟁력을 약화시킨다. 조사 자료에 의하면 2000년 기준 국내 물류비용은 국내 총 생산의 16%를 점유하고 있고, 이는 9% 수준인 미국 및 일본의 물류비용보다 상대적으로 높은 비율이다. 물류비용에서 특히 중요한 것이 수송비용으로, 국내의 총 물류비 중에서 수송비용이 차지하는 비율이 67% 수준이고, 그 비율이 매년 증대되고 있다. 화물운송은 상품의 생산과 소비활동과 관련된 일련의 활동을 위한 물류 체인의 연결 역할을 해주기 때

에 효율적이고 원활한 화물운송은 경제에 미치는 영향이 크다. 국내의 화물운송비가 과다하게 드는 이유는 1차적으로 도로, 철도, 항만 등의 교통 인프라와 화물터미널, 공동 집배송센터 등의 물류 관련 시설과 같은 하드웨어 측면의 물류시설이 부족하기 때문이지만, 또 하나의 중요한 이유는 물류 표준화, 제삼자 물류, 공동수배송, 물류 정보화 전략, 물류 최적화 등 물류 전략과 운영적 측면에서의 낙후화 때문이다.

화물운송의 합리화를 위하여 화물을 일정한 표준의 중량과 용적으로 단위화(Unitization)시켜 일괄적으로 하역, 운송하는 단위적재(Unit Load) 운송 시스템이 도입되어 오고 있다. 단위 화물운송을 대표하는 컨테이너에 의한 운송은 경제성, 신속성, 안전성의 이점을 갖고 운송, 보관, 하역 등 물류 전 과정을 합리적으로 일괄 운송할 수 있는 도구이다. 컨테이너에 의한 운송

이 논문은 2001년도 학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2001-003-E00080).

*연락처 : 구평희 교수, 608-739 부산시 남구 용당동 산100 부경대학교 산업공학과, Fax : 051-620-1546, e-mail : phkoo@pknu.ac.kr
2003년 1월 접수, 2회 수정 후 2003년 5월 게재 승인

은 수출입 물량의 대부분이 컨테이너에 의해 이루어진다는 점에서 중요한 수단이다. 우리나라 컨테이너 처리 항만은 부지가 협소하여 컨테이너 터미널 내에서 물량을 처리하는 On-Dock 처리 가능 물량은 제한적이고, 53%에 해당하는 물량이 터미널에서 떨어져 시내에 산재해 있는 배후 부두 밖 장치장(ODCY: Off-Dock Container Yard)과 내륙 컨테이너 기지(ICD: Inland Container Depot)에서 처리되고 있어 항만과 이들 장치장 사이 그리고 장치장 간에 차량 이동이 빈번히 발생한다. 또한 철도 수송을 위한 철도 CY와 터미널과의 운송, 터미널과 재래 부두와의 화물운송, 컨테이너 야드들 간의 운송 등 컨테이너화물 운반작업이 수행되고 있다(<그림 1> 참조). 이처럼 컨테이너 터미널 주변의 여러 지점 간의 빈번한 컨테이너 운반은 물류비용 증가뿐 아니라, 도시의 교통체증, 매연, 안전 등의 문제를 야기하기 때문에, 효율적인 차량운영은 여러 면에서 중요하다.

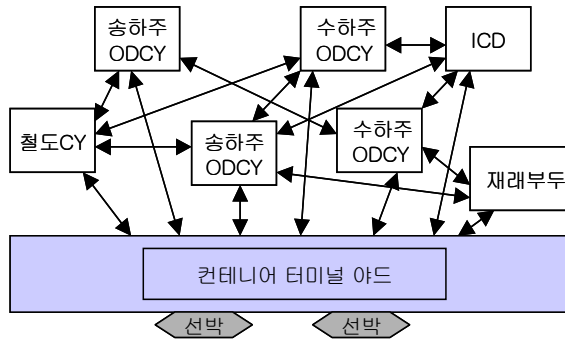


그림 1. 수출입 컨테이너 화물의 흐름.

화물컨테이너 운송은 픽업 지점에서 제품이 채워진 컨테이너를 차량에 싣고 미리 지정된 배달 지점까지 운반되며, 각각의 화물컨테이너는 중간에서 분리되지 않고 하나의 운송 단위로 다루어진다. 이러한 운송 체계는 Bodin et al.(1983)이 분류한 트레일러를 트랙터에 연결하여 이동하는 트랙터-트레일러 운송 체계나, 정적인 상황에서 차량 용량이 1인 Dial-A-Ride 문제에 속한다. 차량이 한 지점에 화물컨테이너를 운반한 후에 다음 운반 작업을 수행해야 하는데, 그 지점에 운반해야 할 화물 컨테이너가 없는 경우에는 운반할 화물컨테이너가 있는 다른 지점까지 공차인 상태로 이동해야 한다. 따라서 컨테이너 운반 차량의 이동은 적재차량 운행과 공차 운행 두 가지 경우에 이루어진다. 여기서, 적재화물 운반시간은 운반할 컨테이너 물량과 목적지가 주어지면 쉽게 구할 수 있으나, 공차 운행 시간은 공차로 되는 차량 위치의 변동성 때문에 차량 운영 방법에 따라 변경된다. 따라서 차량의 총 운행 시간을 줄이기 위해서는 공차 운행 시간을 최소화 하여야 한다.

일반적으로 운송시스템에서 차량경로문제가 차량의 용량이 1 이상이고 주어진 데포(Depot: 차량집결지)에서 차량용량 제약을 만족하면서 모든 고객을 1회 방문하는 문제인데 반하여 컨테이너 운송문제는 한번에 한 개의 컨테이너만을 운송하는 차량으로 구성된 운송 시스템에서 상차 지점과 하역 지점이

주어진 다수의 컨테이너 물량을 일정한 수의 트럭으로 다회 방문을 통해 수송하는 문제이다. 본 연구에서는 화물컨테이너 운반시스템에서 최소의 차량으로 일정한 시간(예; 1일 8시간) 내에 주어진 컨테이너를 운반하는 차량 경로 계획을 설정하는 절차를 제시한다. 제시된 절차는 우선 공차이동 시간을 최소화 하는 최적화 모형을 이용하여 차량의 소요 대수 하한값(Lower Bound)을 결정하고, 이를 기초로 타부서치를 기반으로 하는 차량 경로 계획을 수립한다. 제시된 절차는 실험을 통하여 기존의 타 방법과 비교하여 그 유용성을 검증한다.

2. 컨테이너 운송 시스템 및 기존 연구

<그림 2>는 본 연구에서 다루는 상황을 간단한 예로서 설명하고 있다. 계획기간 초기에 데포에는 여러 대의 차량이 하루 동안의 작업을 수행하기 위하여 준비 중에 있고, 하루 일과를 마친 차량은 데포로 돌아온다. 운반되어야 할 컨테이너의 물량과 목적지는 계획기간 초기에 정해져 있다. 예를 들어 지점 A에서 지점 E로 17개의 컨테이너가 운반되어야 한다. 이밖에도 본 논문에서 다루는 물류 시스템 환경은 다음과 같다.

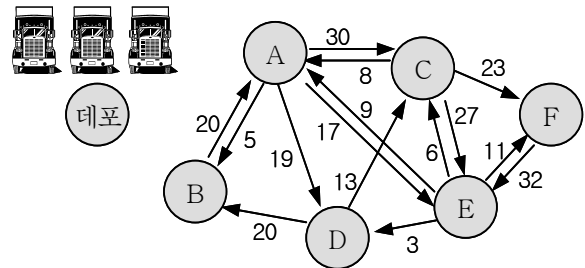


그림 2. 컨테이너 운송 예.

1. 각 지점 사이의 차량 이동시간은 확정적으로 주어져 있다.
2. 지점 간 물동량에 대한 정보는 계획기간 초기에 확정적으로 알려져 있다.
3. 운반되어야 할 모든 컨테이너는 계획기간 초에 운반을 위해 준비되어 있다.
4. 하나의 컨테이너는 하나의 차량에 의해 운반되고, 하나의 차량은 한 번에 하나의 컨테이너만을 운반할 수 있다.
5. 화물을 차량이 운반하는 시간에는 차량의 이동시간과 물건을 상차 및 하차하는 시간이 포함된다.

기존의 화물수송에 대한 연구는 주로 한 차량이 한 번에 여러 요구를 대응해 주어야 할 때, 하나의 또는 복수의 차량이 어떤 순서대로 방문할 것인가를 주로 다루고 있다. 차량의 용량 제약이 없는 Traveling Salesman Problem(TSP)과 multiple TSP, 그리고 차량 routing 및 scheduling 문제가 이에 속하고 이에 대한 연구가 광범위하게 수행되어왔다(Larporte and Osman, 1995; Crainic and Larporte, 1998; Chao, 2002). 컨테이너 운송에 대한 차

량 경로 문제는 TSP 문제와는 여러 면에서 차이가 있다. 우선 TSP는 하나의 지점을 한 번 방문하지만 컨테이너 운송은 한 지점에 차량이 운반할 컨테이너 수만큼 여러 번 방문해야 한다. 또한 각 컨테이너는 목적지가 있으므로 컨테이너를 상차한 후에는 목적지로 이동해야만 한다. 이는 일반적인 선후제약이 있는 pickup delivery 문제와 유사하다. 하나의 차량은 하나의 컨테이너만을 운반한다는 용량 제약 상황도 TSP보다 문제를 더 복잡하게 한다. TSP는 유명한 NP-Hard 문제로서 문제 크기가 커지면 최적해를 찾을 수 없다. 따라서 컨테이너 운반 경로 설정 문제를 위하여 일반적으로 Heuristic 접근법을 사용한다.

컨테이너 운송 시스템에 대한 연구는 주로 컨테이너 터미널의 설계와 운영분야와 연계하여 주로 이루어져 왔다. Maxwell and Muckstadt(1982)는 컨테이너와 같은 단위화물의 운반 환경에서 차량 배치와 최소의 차량 운행 모델을 제시하였다. 각 장소마다 제품이 들어오고 나가는 양의 차이를 나타내는 순 흐름(net flow)을 계산하고 이를 공차운행과 연관시켜 최소의 공차운행이 되도록 하였다. Kim *et al.*(1997)은 시간창 및 운전자의 휴식시간 등을 고려하여 공차운행을 최소화하는 우선순위 규칙의 차량 배치 방법을 제시하고 이를 시스템으로 구현하였다. 차량 운행 도중 동적인 상황이 발생하면 이를 감안한 새로운 배치 계획이 설정된다. Du and Hall(1997)은 한 곳의 센터와 여러 터미널 사이에 물품을 운반하는 방사형 물류 체계에서 재고이론의 (s,Q)정책과 유사한 규칙을 사용하여 필요로 하는 차량의 규모와 분산형 빈송장비 재분배 정책을 제시하였다. Seo and Lee(1998)는 품질과 비용을 추가하여 Du and Hall의 연구를 발전시켰다. Kozan and Preston(1999)은 컨테이너 터미널에서 컨테이너의 운반과 선적시간을 최소화시키는 절차를 제시하였다. Yun *et al.*(1999)은 방문시간의 제약이 있는 컨테이너 터미널에서 공차 이동과 빈 컨테이너 이동시간을 최소화하는 배치 계획을 위한 혼합정수모형을 모형화하고, 새로운 배치 휴리스틱을 제안하였다. Ko *et al.*(2000)는 컨테이너 셔틀 운송에 대한 물리적 네트워크를 논리적 네트워크로 변환하고 이를 바탕으로 Multiple TSP 수리모형을 제시하고, 실제 환경에서 사용할 수 있도록 차량 대수를 최소로 하는 차량 경로 계획을 insertion 기법을 기반으로 하는 Heuristic을 제시하였다. 최근에는 이를 발전시켜 두 종류의 컨테이너와 화물적인 컨테이너 상차시간을 고려한 차량 운영 계획 절차를 제시하였다(Ko *et al.*, 2002). Koo and Jang(2002)은 단위화물 운반 요청이 동적으로 발생하는 경우에 여러 차량 배치 환경에서 차량 운행시간을 예측하는 모형을 제시하고, 이를 기반으로 Koo and Suh(2002)는 대기 모형을 이용하여 차량 보유 대수를 결정하는 절차를 제시하였다. Lehmann *et al.*(2002)은 자동화된 컨테이너 항만에서 여러 컨테이너를 한 번에 운반할 수 있는 무인 운반차의 배치를 위한 알고리즘을 제시하였다. 컨테이너 운송이 실시간으로 발생하는 상황에서 기존의 모든 운반 요청과 모든 AGV를 함께 고려하여 우선순위 규칙을 기반으로 한 Many-To-Many AGV의 배치 절차를 제시하였다. 무인 운반차량의 설계와 운영에 대한 기

존 연구 실적들은 광범위한 조사를 수행한 Ganesharajah *et al.*(1998)에서 찾아볼 수 있다.

3. 차량 운영 계획

본 논문에서 제시하는 차량운영계획의 전체 절차가 <그림 3>에 요약되어 있다. 컨테이너 운반량과 각 지점 간의 차량 이동 시간이 주어지면 최적화 모형에 의하여 차량 대수의 하한값이 결정된다. 최적화 모형은 차량의 총 이동시간을 최소로 하는 것을 목표로 한다. 여기서 얻은 결과는 공차 이동시간이 최소가 될 수 있도록 하는 공차 운행 계획이다. 차량의 대수는 총 차량 운행시간을 계획기간의 시간으로 나누어 얻는다. 그러나 이러한 공차 운행 계획은 각 차량의 경로를 고려하지 않았기 때문에 현실적으로 직접 적용하기는 어렵다. 따라서 각 차량의 경로도 함께 고려해야 하고 이러한 문제는 다음 단계에서 타부서치를 이용하여 얻는다. 결과적으로 차량의 경로가 구해지면 각 차량의 운반 작업이 계획기간 내에 완료되는지를 확인하여, 완료 불가능한 경우는 차량의 수를 1대 증가시켜 다시 타부서치 기반의 차량 경로 계획을 수립하는 단계를 반복한다. 계획기간 내에 완료 가능하면 현재의 차량 대수가 운영상의 최소한의 차량이고 운반 경로는 타부서치에서 얻은 것을 이용한다. 이제 절차 내에 있는 최적화 모형과 초기해 생성 방법 및 타부서치 기반의 차량 경로 계획 알고리즘을 자세히 설명한다.

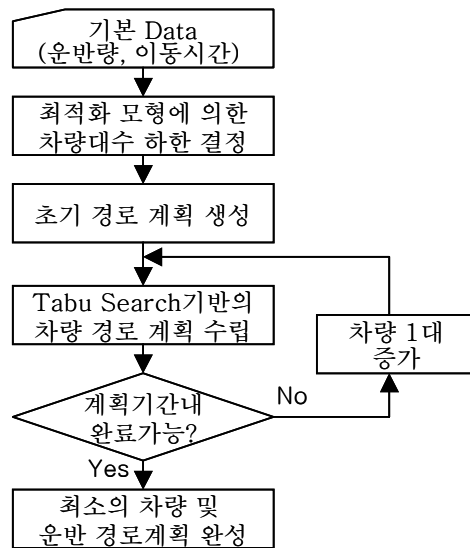


그림 3. 차량 운영 계획 절차.

3.1 소요 차량 대수 하한값을 위한 최적화 모형

앞에서 언급하였듯이 컨테이너 화물운송에서는 차량이 한 장소에 컨테이너 화물을 배달한 경우에 그 장소에 운반해야 할 다른 컨테이너 화물이 없는 경우에는 운반을 기다리는 컨테이

너 화물이 있는 다른 장소까지 공차인 상태로 이동해야 한다. 모든 컨테이너 화물의 픽업 지점 및 배달 지점은 정해져 있으므로 각 지점에서 운반할 컨테이너 화물이 주어져 있고 각 지점 간의 차량 이동시간이 정해져 있으면 차량이 컨테이너 화물을 운반하는 시간은 일정하다. 차량의 총 운행시간은 화물의 운반시간과 공차로 이동하는 시간으로 구성되어 있으므로, 화물을 적재하고 운반하는 시간이 일정한 상태에서는 차량의 총 이동시간이 공차로 이동하는 시간에 직접적인 영향을 받는다. 필요한 차량 대수 하한값(Nmin)은 차량의 총 운행시간을 차량 1대의 가용시간으로 나누어 얻을 수 있다: $Nmin = (\text{화물운반시간} + \text{공차 운행시간})/\text{차량 가용시간}$. 따라서, Nmin을 줄이기 위해서는 차량 이동시간, 특히 공차의 이동시간을 최소로 하는 차량 계획이 필요하다. 본 절에서는 화물컨테이너 운반 시스템에서 차량의 이동을 최소로 하는 모형을 기술한다. 사용하는 기호는 아래와 같다.

- x_{ij} : 차량이 공차로 지점 i에서 지점 j로 이동하는 횟수
- v_{ij} : 지점 i에서 지점 j로 운반되어야 할 적재 화물컨테이너의 수
- f_i : 계획기간 초에 지점 i에 있는 공차의 수
- g_i : 계획기간 말에 지점 i에 있어야 하는 공차의 수
- t_{ij}^a : 지점 i에서 지점 j로 화물컨테이너를 싣고 이동하는 데 소요되는 시간(적재, 하역시간 포함)
- t_{ij}^b : 지점 i에서 지점 j로 공차로 이동하는 데 소요되는 시간

차량의 운반시간은 운반할 물량을 적재하여 (제품 적재 및 하차까지의 시간을 포함하여) 이동하는 시간과 공차로 이동하는 시간으로 구성되어 있다. 한 지점을 기준으로 볼 때, 운반되어 나가야 할 물량과 운반되어 들어올 배달량은 차이가 날 수 있다. 제품이 배달되어 들어온다는 것은 (하역한 후에 빈차로 되기 때문에) 그만큼의 차량이 해당 지점에서 가용하게 된다는 것을 의미하고, 픽업되어 나가는 픽업량은 해당 지점에서 필요한 차량의 수를 의미한다. 따라서, 제품 배달량이 픽업량보다 많은 지점은 그 차이만큼 다른 지점으로 차량을 공차 상태로 이동시켜야 한다. 반대로 픽업량이 배달량보다 많은 지점은 그 차이만큼 추가적으로 차량이 필요하므로 다른 곳에서 공차로 차량이 와야 한다. 차량의 총 운행시간은 공차의 이동시간에 직접적인 영향을 받으므로, 화물컨테이너 운반 상황에서의 차량운행 최소화 문제는 공차의 운행시간을 최소로 하는 문제와 동일하다. 차량의 총 운반시간, 각 지점에서 필요로 하는 차량의 수, 그리고 운반 완료 후 공차로 되는 차량의 수는 아래와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{차량 총 운반시간} &= \sum_i \sum_j t_{ij}^a v_{ij} + \sum_i \sum_j t_{ij}^b x_{ij} \\ \text{지점 i에서 필요로 하는 차량의 수} &= \sum_j v_{ij} \\ \text{지점 i에서 공차로 되는 차량의 수} &= \sum_j v_{ji} \end{aligned}$$

Maxwell and Muckstadt(1982)의 모델링에서처럼, 지점 i에서의

차량 순흐름 $nf(i)$ 을 i가 목적지인 (즉, i에서 가용하게 되는) 차량의 수와 i에서 나가는 물량 (즉, 필요한 공차 수)의 차이로 정의하면 아래와 같이 표현된다.

$$nf(i) = \sum_j v_{ji} - \sum_j v_{ij}$$

계획기간 초기에 각 지점에 있는 차량의 수(f_i)와 계획기간 말에 각 지점에 있어야 하는 차량의 수(g_i)가 주어진다면 각 지점에서의 차량 순흐름은 다음과 같이 표현된다.

$$nf(i) = (\sum_j v_{ji} + f_i) - (\sum_j v_{ij} + g_i)$$

위의 식에서 우변의 첫째 항은 지점 i에서 가용한 공차의 수를 의미하고, 둘째 항은 필요로 하는 공차의 수를 의미한다. 따라서 차량 순흐름, $nf(i)$ 가 양수인 경우에는 필요한 차량보다 가용한 차량이 더 많은 상태이고, 그 수만큼 공차로 다른 지점으로 이동되어야 한다: $\sum_j x_{ij} = nf(i)$ 반대로 차량 순흐름이 음수인 경우는 음수인 만큼 공차가 들어와야 함을 의미한다: $\sum_k x_{ki} = -nf(i)$. 이러한 제약조건을 만족하면서 총 차량 이동시간을 최소로 하는 수리 모형은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= \sum_i \sum_j t_{ij}^a v_{ij} + \sum_i \sum_j t_{ij}^b x_{ij} \\ \text{Subject to:} \\ \sum_j x_{ij} &= nf(i), \quad nf(i) > 0 \text{인 모든 } i \text{에 대하여,} \\ \sum_k x_{ki} &= -nf(i), \quad nf(i) < 0 \text{인 모든 } i \text{에 대하여,} \\ x_{ij} &\geq 0 \text{인 정수.} \end{aligned}$$

목적식에서 첫 번째 항은 적재 컨테이너 운반시간으로 계산에 의해서 구할 수 있는 상수로 목적식에서 제거하더라도 같은 결과를 얻을 수 있으므로, 결국 공차의 운행시간을 나타내는 두 번째 항을 최소로 하는 차량 계획이 수립된다. 모델의 결과에서 얻은 총 운행시간(Z)을 1일 차량 가용시간으로 나누면 운행해야 하는 차량 대수의 하한값을 얻을 수 있다. 즉,

$$\text{차량 대수 하한값} = \frac{Z}{1 \text{일 차량 가용시간}}$$

3.2 타부서치 기반의 차량 경로 계획 알고리즘

본 절에서는 앞에서 구한 차량 대수 하한값과 도출된 정보를 기초 자료로 이용하여 차량 경로를 계획한다. 차량 경로를 계획하는 문제는 규모가 작은 경우에는 가능한 모든 경우를 조합하여 최적해를 구할 수가 있으나 문제의 규모가 커질수록 시간과 노력이 기하급수적으로 증가함에 따라 탐색적인 해법이 주로 연구되어 왔다. 본 논문에서는 메타 휴리스틱 중에 하나인 타부서치를 이용하여 컨테이너 운송 시스템에서의 차량 경로 계획을 수립한다.

타부서치는 Glover(1989, 1990)에 의해 소개된 이후 효율적인 휴리스틱 최적화 기법으로 널리 활용되어 오고 있다. 타부서치의 기본 개념은 하나의 해로부터 이웃해 중 최선의 해를 탐색한다는 것이다. 기존의 Hill Climbing 휴리스틱이 지역 최적해에 빠질 수 있는데 반하여 타부서치는 이러한 문제를 해결하기 위하여 목적값을 악화시키는 방향으로도 움직이게 하고, 이미 거쳐 온 지역 최적해에 다시 빠지지 않도록 하는 장치를 두고 있다. 즉, 지역 최적해에 도달한 경우에 다음 해는 현재의 해보다 개선되지 않을 것이고, 새로운 해에서 그 다음 해는 이웃해 중에서 최선의 해를 탐색할 것이므로 지역 최적해로 다시 돌아올 수 있고 사이클이 계속 반복될 것이다. 이러한 사이클링을 방지하기 위해 해의 이동을 제한하는 타부리스트를 유지한다. 본 논문과 연관이 있는 타부서치 기반의 연구로는 생산 순서에 따라 다른 준비시간을 갖는 제조 시스템에서의 스케줄링(Franca *et al.* 1996), 차량 경로 문제 (Breedam, 2001; Osman and Wassan, 2002), TSP 문제 (Gendreau *et al.*, 1999) 등이 있다. Osman and Larporte(1996)는 타부서치를 비롯한 메타휴리스틱에 대한 광범위한 연구논문 조사를 실시하였다.

본 논문에서 제시하는 타부서치 기반의 알고리즘은 초기해 생성 단계와 해 향상단계로 이루어진다. 알고리즘의 목적은 주어진 차량 대수를 갖고 총 완료시간(makespan)을 최소화 하는 것이다. 초기해 생성 단계는 greedy한 방법을 이용하여 공차 이동을 최소화 하면서 모든 차량이 비슷한 작업 완료시간을 가지도록 차량 경로를 설정한다. 이를 위하여, 모든 작업 차량 중 현재 가장 빨리 작업이 완료된 차량에 아직 할당되지 않은 작업들 중 공차 이동시간이 가장 적은 작업을 할당한다. 생성된 초기해에서 최대의 완료시간을 가지는 차량을 선정하고, 선정된 차량 내의 현재 계획된 작업순서를 조정해 봄으로써 완료시간을 줄인다. 현재의 작업순서 내에서 더 이상 완료시간이 줄어들지 않는 경우는 가장 적절한 작업물량을 선택하여 최소의 완료시간을 가지는 다른 차량으로 이동시킴으로써 전체 차량의 최대 완료시간을 줄이도록 한다. 이와 같은 기본 개념을 이용한 타부서치 알고리즘의 단계별 세부 내용은 다음과 같다.

<초기해 생성 단계>

Step 0: 이용 가능한 차량의 대수 n , 지점 간의 컨테이너 운반 물량 집합 Set_J , 각 운반 작업 간의 공차 이동시간 행렬 $[t_{ij}]$ 데이터를 준비한다.

Step 1: 모든 차량의 완료시간을 0으로 초기화한다: $C(M_i) =$

$0, i=1, \dots, n$. 여기서 $C(M_i)$ 는 차량 V_i 가 데포를 출발해서 모든 작업을 완료하고 데포로 복귀하는 시간이다. 차량의 경로는 차량이 운반해야 할 작업물량 순서이다. 모든 차량의 경로 역시 할당된 작업이 없는 상태로 구성한다.

Step 2: 운반 작업 n 개를 임의로 선택하여 한 개씩 각 차량에 할당한다. 선택된 작업물량들은 Set_J 에서 삭제한다. 각 차량의 완료시간을 선택된 컨테이너가 있는 장소로의 공차 이동시간, 해당 컨테이너를 운반하는 시간 그리고 데포로 돌아오는 시간의 합으로 수정한다.

Step 3: 작업이 할당된 모든 차량을 대상으로 최소완료시간을 가진 차량을 선정한다. 현재의 차량경로의 마지막 작업을 마친 후에 공차 이동거리가 가장 짧은 작업을 Set_J 에서 선정하여 차량의 마지막 작업 바로 뒤에 할당한다. 선택된 작업은 Set_J 에서 삭제하고, 차량의 완료시간도 수정한다. 동물이 발생할 경우는 작업시간이 큰 작업이 우선순위를 갖는다. 이는 병렬 자원 스케줄링에서 총 완료시간을 최소화 하기 위해서는 LPT 규칙을 사용한다는 것을 활용한 것이다.

Step 4: 모든 작업물량이 배정될 때까지 Step 3을 반복한다.

초기해 생성 단계를 수행하면 각 차량의 경로와 완료시간 정보를 가진 초기해가 구성된다. 초기해가 완성되면 이를 기반으로 아래의 해 향상 단계를 수행한다.

<해 향상 단계>

Step 0: 초기해를 현재해로 저장한다. 반복 횟수를 0로 초기화한다: $c = 0$.

Step 1: 최대 완료시간을 가지는 차량 V^* 를 선택하고, V^* 내의 모든 작업에 대해서 작업순서를 변경시켜 완료시간을 비교한다. 새로운 경로의 최대 완료시간이 현재해보다 작으면 현재해를 수정하여 교체한다. 작업의 변경은 <그림 4>에서와 같이 하나의 작업을 삭제하고 이를 다시 동일 차량 운반순서 중 다른 곳에 삽입할 때 차량 운행시간이 가장 많이 감소하는 순서를 찾아 내어 수행한다. 즉 V^* 에 포함되는 모든 작업에 대해 $(t_{pj} + t_{jq} + t_{rs}) - (t_{pq} + t_{rj} + t_{js})$ 를 계산하고 이 중 가장 큰 값이 0보다 크면 (즉 최대 완료시간이 감소되면) 해당 작업 J_j 의 위치를 변경시키고 수정된 경로

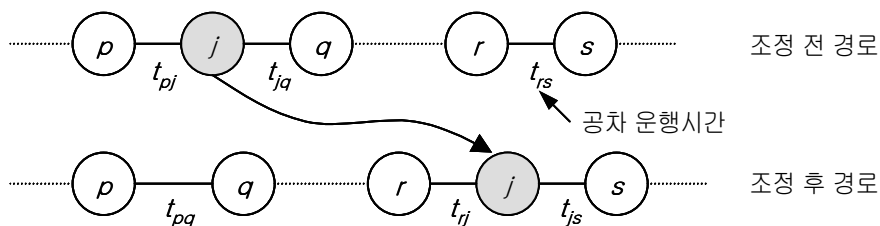


그림 4. V 차량 경로 내에서의 작업 순서 수정.

에 대한 V^* 의 완료시간을 재계산한다.

Step 2: Step 1의 결과로 인하여 V^* 차량의 완료 시간이 줄어들어 현재의 V^* 보다 더 큰 완료시간을 갖는 차량이 존재하면 Step 1로 가서 절차를 반복한다. 그 외의 경우는 다음 단계로 간다.

Step 3: V^* 차량 내의 모든 작업에 대해서 다음 방법을 적용한다. 작업 J_j 의 앞 작업을 J_i , 뒤 작업을 J_k 라고 하자. $Max[(t_{ij} + t_{jk} - t_{ik})]$ 를 가지는 작업 J_j 를 선택한다. 즉, 작업 J_j 는 현 운반 경로에서 삭제되면 공차 운행시간을 최대로 줄일 수 있는 작업이다. 선택된 작업은 V^* 차량 내에서 삭제되고 타부리스트에 올린다. 선정된 V^* 차량 내의 모든 작업이 타부리스트에 있는 경우는 실행 가능한 이웃해가 없는 경우에 해당되어 Step 5로 간다.

Step 4: V^* 차량에서 삭제된 작업은 모든 차량 중 최소 완료시간을 가지는 차량에 삽입된다. 이는 모든 차량의 완료시간을 작은 값으로 균등화하기 위해서다. 삽입될 작업을 J_j 라고 하고, 삽입될 지점의 앞 작업은 J_i , 뒤 작업은 J_k 라고 할때 $Min[(t_{ij} + t_{jk} - t_{ik})]$ 인 지점에 삽입한다. 즉, 추가적인 공차 운행시간이 가장 적은 곳에 삽입한다. $c = c+1$ 로 하고 c 가 설정한 최대 반복 횟수보다 작으면 Step 1로 돌아가 절차를 반복하고 그렇지 않으면 Step 5로 간다.

Step 5: 주어진 총 반복 횟수를 만족하는 경우, 해의 향상 없이 일정 횟수를 반복한 경우, 또는 feasible 이웃해가 없는 경우에 종료된다. 초기해 향상 단계를 수행하면 주어진 반복 횟수만큼 차량의 최대 완료시간이 구해진다. 각 반복 구간마다 산출된 최대 완료시간 중 최소의 완료시간을 가지는 반복 구간에서의 차량 경로가 원하는 해가 된다.

일반적으로 컨테이너를 운반하는 차량은 하루 일과를 마치고 돌아오는 시간 제약이 있다. 본 논문에서 제시한 타부서치 기반의 알고리즘에서 얻어진 총 완료시간이 이러한 시간 제약을 만족시키지 못하면 앞의 <그림 3>에서와 같이 차량 1대를 증가시키고 다시 타부서치 알고리즘을 수행하여 완료시간 조건이 만족할 때까지 반복한다.

4. 수치 예제 및 알고리즘 성능 분석

4.1 수치 예제

모든 알고리즘은 Visual Basic으로 코드화되었다. 실험은 IBM PC 호환 기종에서 Pentium III Processor를 이용하였다. 최적화 모형은 CPLEX 7.0과 AMPL 모델링 시스템을 이용하여 실험하였다. 대상으로 하는 시스템은 기존의 Ko et al.(2000)의 논문에서

이용한 데이터를 그대로 이용하였다(저자들의 조사에 의하면 본 논문에서 다루는 상황과 유일하게 동일한 운반 데이터임). <표 1>과 <표 2>는 각 지점 간의 컨테이너 운반 횟수와 차량 운행시간을 나타낸다. 예를 들어, 지점 A에서 물건을 픽업하여 지점 E로 배달하는 횟수는 15회이다. 지점 A에 제품이 배달되는 총 횟수가 24회이고, 이곳으로부터 제품이 실려 나가는 횟수가 64회이므로 다른 지점에서 지점 A로 40대의 공차가 와야 한다.

표 1. 각 지점 간 컨테이너 운반량

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A					15			47	2
B					28				
C					22			5	2
D									
E	3		10						1
F									
G									
H	21		2						
I								4	

표 2. 각 지점 간 차량 운행시간(분)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	-	50	30	35	40	35	30	30	30
B	50	-	30	35	40	35	30	35	35
C	30	30	-	5	10	25	30	35	35
D	35	35	5	-	5	20	25	30	30
E	40	40	10	5	-	15	20	25	25
F	35	35	25	20	15	-	10	15	15
G	30	30	30	25	20	10	-	5	5
H	30	35	35	30	25	15	5	-	5
I	30	35	35	30	25	15	5	5	-

공차로 운행되는 시간을 최소화하는 3.1절의 최적화 모형에 의해 도출된 결과는 적재 컨테이너를 운반하는 시간 4,620분과 공차 운행시간 2,550분이 발생하여 총 차량 이동 시간은 7,170분이 된다. 공차의 운행은 E->A는 6회, E->B는 28회, E->C는 17회, H->A는 33회, 그리고 I->A는 1회 발생하였다. 차량의 하루 운행 가능시간이 480분이라고 한다면 주어진 운반물량을 소화하기 위해서는 차량이 최소한 15대(정확한 차량 소요 대수 $7,170/480 = 14.9$ 보다 큰 제일 작은 정수)는 보유하고 있어야 한다. 차량 순회율을 기반으로 하는 최적화 모형은 차량이 하루의 마지막 적재 컨테이너의 운반을 마친 후에 실제적으로는 수행하지 않는 공차 운행이 추가된다. 따라서 위에서 구한 최소의 공차운행

시간은 약간 큰 값을 갖게 된다. 이러한 현상을 해결하기 위해서 가상의 지점(노드) 두개 J, K 를 설정하고 하나는 초기에 차량이 위치하고 있는 지점으로 가정하고 또 하나는 모든 운반을 완료한 후 차량이 집결하는 지점으로 가정한다. 이러한 가상 노드는 실제로 존재하는 지점(예; 데포)일 수도 있고, 또는 차량의 추가적인 공차 이동을 방지하기 위한 가상적인 지점 역할도 할 수 있다. 이 예제에서는 지점 J 에 있는 15대의 차량이 계획기간의 초기에 운반을 수행할 첫 지점에 도착하여 작업을 시작하고, 모든 15대의 차량이 작업완료 후에는 지점 K 로 이동하여 주차하도록 한다(15대의 차량 대수는 앞의 실험에서 구해진 최소한의 차량 대수이다). 모든 지점에서 지점 J 와 K 까지의 차량 이동시간은 실제로 존재하는 지점이면 실제 차량 이동시간을 할당하고, 가상의 노드인 경우는 차량 이동시간을 0으로 설정한다(본 실험에서는 J, K 로의 차량 이동시간을 0으로 가정하였다). 가상 노드를 도입한 상태에서 최적화 모형을 수행한 결과, $E \rightarrow B$ 는 19회, $E \rightarrow C$ 는 17회, $E \rightarrow K$ 는 15회, $H \rightarrow A$ 는 33회, $I \rightarrow A$ 는 1회, $J \rightarrow A$ 는 6회, 그리고 $J \rightarrow B$ 는 9회의 공차 운행이 발생하며 이때의 공차 운행시간은 1,950분이다. $J \rightarrow A$ 6회, $J \rightarrow B$ 9회는 초기에 J 에 있던 차량 15대 중에서 6대는 A 로 그리고 나머지 9대는 B 로 운행됨을 의미하고, $E \rightarrow K$ 15회는 모든 차량 15대가 운반 작업을 E 에서 완료된 후 가상 위치 K 로 돌아옴을 의미한다. 차량의 총 운행시간은 6,570분이며 이때 최소 차량 소요량은 14대 (정확히는 13.7대)이고 이 값이 필요한 차량 대수의 하한값이다.

타부서치 알고리즘 적용 과정에서 타부리스트 상주기간은 최종 결과에 중요한 영향을 미친다. 상주기간이 너무 작으면 순환(cycling)이 발생하여 더 이상의 해 향상이 되지

않으며, 반대로 너무 크면 이웃해로의 이동을 위한 탐색영역이 너무 제한적이어서 해의 질이 나빠진다. 따라서 타부리스트 상주기간을 적용 대상에 따라 적절하게 설정하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 상기의 동일한 문제를 가지고 타부리스트 상주기간을 변경해 가면서 반복 횟수 100회 동안 예비 실험하여 그 중에서 가장 적은 작업 완료시간과 총 작업시간을 제공하는 기간(기간 3)을 타부리스트 상주기간으로 설정하였다. <표 3>은 타부리스트 상주기간을 변경해 가면서 예비 실험한 결과이다.

표 3. 타부리스트 상주기간의 변화에 따른 결과 비교

타부리스트 상주기간	작업 완료시간	총 차량 운행시간
1	500	7,325
2	485	7,180
3	470	6,980
4	475	7,060
5	480	7,065
6	485	7,165
7	485	7,165

알고리즘의 종료 조건 또한 타부서치의 결과에 영향을 준다. 본 논문에서는 Franca *et al.* (1996)의 방법과 유사하게 반복 횟수를 해 개선이 없는 3n번을 반복하는 경우로 설정하였다(n 은 운반해야 할 컨테이너의 수).

최적화 모형에서 얻어진 차량 대수 하한값인 14대를 가지고 알고리즘을 수행한 결과 총 운행시간은 6,965분 소요

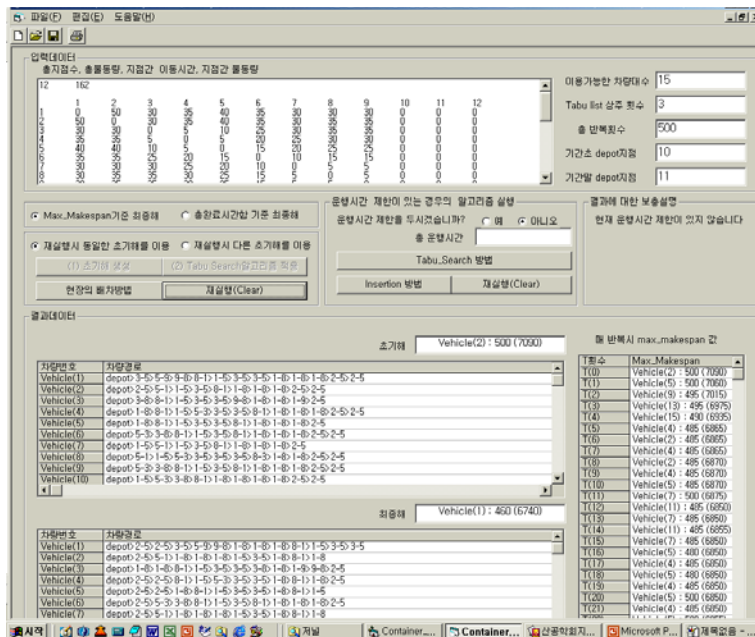


그림 5. 알고리즘 구현 프로그램의 입력 및 출력 창.

되고 500분 작업한 후에 모든 작업이 종료되었다. 하루 작업시간 480분이 초과하므로 한 대를 증차하여 15대를 가지고 알고리즘을 다시 수행한 결과 총 운행시간은 6,740분이 되고 작업 완료시간은 460분으로 하루 작업시간 안에 종료할 수 있었다. 따라서 현재 주어진 물량을 운반하기 위해서는 15대의 차량을 운영해야 하고 각 차량의 경로는 알고리즘을 통해 얻을 수 있다. <그림 5>는 15대의 차량을 보유한 경우에 차량 경로를 설정하는 알고리즘의 수행 결과를 보여주고 있다. 예를 들어, 타부서치 기반의 최종해에서 차량 1의 경로는 다음과 같다(지역 A는 1, B는 2등으로 표시하였다).

Depot - 2 → 5 - 2 → 5 - 3 → 5 → 9 → 8 - 1
 → 8 - 1 → 8 - 1 → 8 - 1 → 5 - 3 → 5 - 3
 → 5 - Depot

여기서 ‘→’는 두 지점 간의 적재 운행을, 그리고 ‘-’는 공차 운행을 나타낸다. 차량 1의 적재 운행시간은 300분이 되고 공차 운행시간은 160분으로 차량의 총 이동시간은 이들 둘을 합한 460분이라는 것을 알 수 있다.

4.2 알고리즘 성능 분석

본 절에서는 제시한 새로운 알고리즘(Method-0)을 검증하기 위하여 기존에 Ko et al.(2000)의 연구에서 발표된 Insertion 방법을 기초로 한 휴리스틱(Method-1)과 현장에서 일반적으로 사용하는 배차방법(Method-2)을 이용하여 비교하였다. Method-1은 하루 차량 운행시간이 주어진 상태에서 차량을 1대씩 증가시켜 가면서 운반물을 차량에 할당한다. 총 운행시간 증가분이 최소가 되는 운반 작업을 선택하여 추가하는 절차를 반복하여 운행 경로를 설정한다. 저자들의 논문조사에 의하면 본 논문과 동일한 컨테이너 운반 상황에서의 차량 규모 결정과 차량 경로를 설정하는 방법은 Method-1이 유일하고 4.1절의 운반 데이터만을 이용하여 이 방법을 소개하였다. Method-2는 미리 경로계획을 수립하는 것이 아니라, 차량이 작업물을 운반한 후에 상차할 작업물이 있으면 작업물을 운송하고 하차한 지점에 상차할 작업물이 없으면 가장 가까운 상차 지점으로 이동하여 작업을 수행하는 방법을 따른다. Method-0의 초기해는 이 Method-2 방법을 기초로 하고 있다.

본 절에서도 4.1절에서 이용한 기존에 발표된 운반 데이터를 동일하게 사용한다(본 절의 후반에는 무작위로 발생된 운반 데이터를 가지고 알고리즘의 성능을 비교한다). <표 4>는 Method-0의 결과와 동일하게 15대의 차량으로 주어진 컨테이너 물량을 운반할 때 각 방법별 총 완료시간과 총 차량 운행시간을 보여주고 있다. 제시된 Method-0에 의한 총 작업 완료시간은 460분으로서 하루 작업시간 480분보다 20분 일찍 작업이 완료된다. Method-0은 총 작업 완료시간과 총 차량 운행시간

모두에서 두 방법보다 좋은 결과를 주고 있음을 볼 수 있다. Insertion 방법을 활용한 Method-1과 현장에서 많이 사용되는 Method-2는 작업 완료시간과 총 운행시간이 Method-0보다 크다. Method-1과 Method-2를 비교하면, Method-1이 더 좋은 결과를 보이고 있다. 그러나 두 경우 모두 작업 완료시간이 하루 작업시간 480분보다 크다는 것을 볼 수 있다.

표 4. 차량 15대를 운영하는 경우의 수행도 비교

	작업 완료시간	총 차량 운행시간
Method-0	460	6740
Method-1	495	6860
Method-2	500	7000

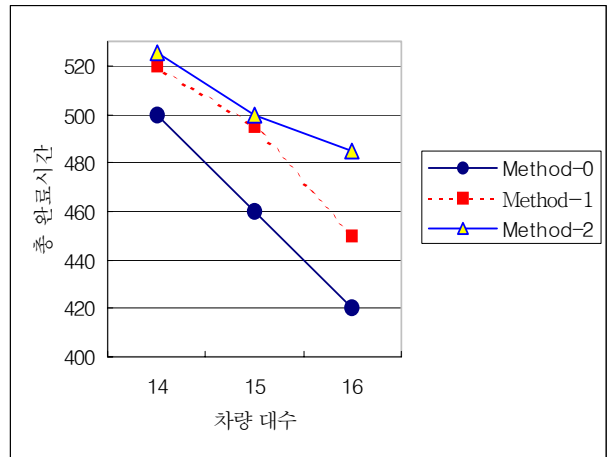


그림 6. 차량 대수 변화에 따른 완료시간 변화.

<그림 6>은 차량의 대수가 변함에 따라 하루 작업이 완료되는 시간을 비교한 것이다. 차량이 증가하면 모든 방법에서 완료시간은 감소한다. 하루 작업시간이 480분으로 제한되었다면, Method-0은 15대, Method-2는 16대, 그리고 Method 3은 17대 이상의 차량이 필요하다는 것을 알 수 있다. 실험은 또한 14대의 차량으로 운행했을 때 Method-1과 Method-2는 각각 40분 및 45분의 잔업을 필요로 하는데 반하여, Method-0를 이용하면 20분의 잔업에 의해 운반물량을 모두 처리할 수 있음을 보여준다.

위의 실험들은 두 지점 간의 차량 운행시간이 확정적이라고 가정하였다. 그러나 현실의 세계에서는 주변의 상황에 따라 운행시간은 가변적인 경우가 대부분이다. 차량 이동시간이 확정적이라 가정 하에 수립된 본 논문의 알고리즘을 실제로 두 지점 간의 차량 이동시간이 확률적으로 변동되는 경우에 사용되었을 때 수행도의 변화추이를 알아보기 위하여 실험을 수행하였다. 각 이동시간은 앞의 예제에서 사용한 이동시간을 평균으로 하고, 평균에서 5%~25%의 변동을 갖는 삼각함수를 따른다고 가정하였다. 즉, 예를 들어 20%의 시간 변동이 있는 경우, 두 지점 간의 평균 이동시간이 50분일 때, 최소값은 40분, 최대

값은 60분의 삼각함수를 따른다. 이 실험에서는 총 이동물량은 앞의 예제와 동일하게 유지했으나, 각 지점 간의 이동물량은 변경시켜 앞의 상황과 다른 상황을 가지고 실험을 수행하였다. 그 이유는 다른 상황에서의 수행도를 동시에 알아보기 위함이다. <표 5>는 확률적인 이동시간을 가지는 경우 이동시간 변동 수준에 따라 10가지의 상황을 무작위로 만들고, 각 상황에서 평균 시간치를 이용한 알고리즘의 결과를 이용했을 경우의 총 완료시간을 보여준다. 모든 경우에 두 지점 간의 이동시간 평균치는 동일하므로 각 알고리즘은 각 차량에 대해 하나의 차량 경로를 만들어 낸다. Method-0와 Method-1은 차량 경로가 정해진 상황에서 생기는 시간 변동이기 때문에 평균을 기준으로 변동이 클수록 총 완료시간이 조금씩 늘어남을 알 수가 있고, 현장의 배차 방법은 차량 경로가 정해지지 않은 상태에서 그때의 상황에 따라 차량 운행시간이 최소인 차량에 물량을 할당하여 차량 경로가 결정되므로 총 완료시간에서 큰 변동은 없다. 전체적으로 확률적인 시간 변동이 있더라도 본 논문에서 제시한 Method-0 방법이 시간 변동이 커지면 완료시간은 약간씩 증대되지만, 여전히 다른 방법에 비해서 상대적으로 우수함을 알 수가 있다.

표 5. 확률적인 이동시간을 가지는 경우의 실험 결과 (총 완료시간)

시간 변동	0%	5%	10%	15%	20%	25%
Method-0	500.0	503.8	507.7	511.5	515.5	519.7
Method-1	540.0	543.7	547.5	551.2	555.0	558.8
Method-2	580.0	577.1	577.0	577.4	578.3	577.4

본 논문에서 제시한 알고리즘의 성능을 여러 상황에서 확인하기 위하여 이동물량 정보를 무작위로 만들어 10개의 운반 상황을 만들고 실험을 수행하였다. <표 6>은 무작위로 생성된 이동 물량과 3.1절의 최적화 모형을 이용하여 구한 차량 소요 대수의 하한값을 보여주고 있다.

<표 7>은 무작위 운반 상황에서 하루 작업시간 480분 내에 모든 물량을 운반하는 데 필요한 차량 대수와 이때의 총 차량 운행시간을 보여주고 있다. Method-0의 초기해는 Method-2를 기반으로 하고 있으므로 Method-0와 Method-1 두 방법만을 이용하여 수행도를 비교하였다. Method-2는 22대의 차량이 필요

한데 비하여 Method-0는 19.8대의 차량이 필요하여 2.2대의 차량 절감 효과를 얻을 수 있다. 총 차량 운행시간에 있어서도 Method-0를 적용한 경우는 9,291분으로서 Method-2를 적용한 경우보다 696 분의 운행시간 절감 효과를 보이고 있다. <표 7>의 오른쪽 부분은 Method-1에서 산출된 차량 대수를 가지고 Method-0를 수행하면 작업 완료시간은 429.8분으로 479.6분의 Method-1보다 49.8분절감됨을 보여준다.

표 6. 무작위로 생성된 이동물량 및 필요 차량 하한값

운반 상황	이동물량	필요 차량 하한
Case 1	195	12
Case 2	307	17
Case 3	318	18
Case 4	322	17
Case 5	341	19
Case 6	391	22
Case 7	394	19
Case 8	396	21
Case 9	438	19
Case 10	371	22

<표 8>은 3.1절의 최적화 모형의 결과에서 얻어진 차량의 총 이동시간의 하한값과 제시된 방법(Method-0) 및 insertion에 의한 방법(Method-2)을 비교한 것이다. 여기서, 하한값은 차량 순회율을 기준으로 생성된 이상적인 총 이동시간을 의미하며 최적 이동시간보다는 항상 작거나 같은 값을 제공한다. 따라서, 본 연구에서는 하한값을 기준으로 Method-0의 성능을 비교한다. <표 8>로부터, Method-0는 각 상황에 대해서는 2.4%에서 7.0%만큼, 그리고 평균적으로는 4.6%만큼 하한값과의 차이를 보임을 알 수 있으며 이는 최적해와는 평균적으로 4.6% 이내의 우수한 해를 제공할 수 있음을 의미한다. 또한, 표의 결과를 통해서, Method-1과는 최대 15%, 평균적으로 8.5%의 차이를 보임으로써, 본 연구에서 제시한 Method-0가 상대적으로 우수한 해를 제공함을 알 수 있었다.

표 7. 무작위로 생성된 운반 상황에서의 수행도 비교

	1일 작업시간 480분 제약의 경우		동일한 차량 대수를 운행하는 경우	
	소요 차량 대수(대)	총 운행시간(분)	작업 완료시간(분)	총 운행시간(분)
Method-0	19.8	9,291	429.8	9,379
Method-1	22.0	9,987	479.6	9,987

표 8. 최적 모형 결과와의 총 차량 운반시간 비교

운반상황	Lower Bound (Z _L)	Method-0 (Z _T)	Method-1 (Z _S)	gap0 (%) $\frac{Z_T - Z_L}{Z_L} \times 100$	gap1 (%) $\frac{Z_S - Z_T}{Z_T} \times 100$
Case 1	5,381	5,509	5,940	2.4	7.8
Case 2	8,151	8,434	9,470	3.5	12.3
Case 3	8,516	8,845	9,455	3.9	6.9
Case 4	7,959	8,405	8,787	5.6	4.5
Case 5	9,066	9,441	10,008	4.1	6.0
Case 6	10,399	11,130	12,232	7.0	9.9
Case 7	8,797	9,155	9,890	4.1	8.0
Case 8	10,005	10,545	12,128	5.4	15.0
Case 9	9,023	9,468	10,190	4.9	7.6
Case 10	10,471	10,970	11,772	4.8	7.3

5. 결론

본 논문은 일정한 기간 동안 여러 컨테이너 야드장 간에 운반되어야 할 컨테이너 물량이 주어진 정적인 환경에서 차량의 이동시간을 최소로 하여 최소의 차량으로 운반물량을 효율적으로 수행하기 위한 차량 경로 계획을 수립하는 절차를 제시하였다. 우선 최적화 모형에 의해 최소 차량 이동시간을 산출하고 이를 통해 필요 차량 대수의 하한값을 구한다. 구해진 차량 대수를 기반으로 차량 경로 계획을 수립한 후에 이를 개선시키기 위해 타부서치 개념을 이용하였다. 제시된 방법은 실험을 통하여 기존의 다른 방법과 비교하였다. 실험 결과 타부서치 기반의 방법이 타 방법보다 우수한 결과를 도출함을 알 수 있었다. 또한 각 지점 간의 차량 이동시간이 변동하는 상황에서도 제시된 알고리즘의 수행도가 유지되고 있음을 보여주었다.

본 연구에서 제시한 타부서치 기반의 알고리즘은 타부리스트 상주기간이나, 열망 기준 등에 대해 개선의 여지가 남아 있다. 또한 타부서치 이외의 메타휴리스틱인 유전자 알고리즘이나 시뮬레이티드 어닐링 방법을 적용하는 것도 좋은 결과가 기대된다. 컨테이너 화물 운송 환경에서는 상차 및 하차 시간 제약이 있는 경우의 차량 경로 문제로 확장할 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서 가정한 full load, 즉 물류용기의 운반 단위를 동일하게 하고 차량의 운반 capacity도 한 단위로 가정하고 있으나, 일반적으로 사용되고 있는 컨테이너는 20 Feet와 40 Feet 두 가지이므로 이를 함께 고려한 알고리즘의 개발이 요구된다. 이러한 문제에 대한 연구는 추후의 과제로 남겨 놓는다.

참고문헌

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 Operation*

Research, 10(2), 63-211.
 Breedam, A.V. (2001), Comparing Descent Heuristics and Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 28, 289-315.
 Chao, I.M. (2002), A Tabu Search Method for Truck and Trailer Routing Problem, *Computers and Operations Research*, 29, 33-51.
 Crainic, T.G. and Larporte, G. (1998), *Fleet management and Logistics*, Kluwer Academic Publishers.
 Du, Y and Hall, R. (1997), Fleet Sizing and Empty Equipment Redistribution for Center-Terminal Transportation Networks, *Management Science*, 43(2), 145-157.
 Franca, P.M, Gendreau, M., Larporte, G. and Muller, F.M. (1996), A Tabu Search Heuristic for the Multiprocessor Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Times, *International Journal of Production Economics*, 43, 79-89.
 Ganesharajah, T. Hall, N.G. and Sriskandarajah, C. (1998), Design and Operational Issues in AGV-Served Manufacturing Systems, *Annals of Operations Research*, 76, 109-154.
 Gendreau, M., Laporte, G. and Vigo, D. (1999), Heuristics for the Traveling Salesman Problem with Pickup and Delivery, *Computers and Operations Research*, 26(7), 699-714.
 Glover, F. (1989), Tabu Search, Part I, *ORSA Journal on Computing*, 1(3), 190-206.
 Glover, F. (1990), Tabu Search, Part II, *ORSA Journal on Computing*, 2(1), 4-32.
 Kim, D.H., Lee, C.H and Kim, B.S. (1997), Truck Dispatching Decision Support System for the Container Transportation Problem, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineering*, 23(2), 275-288.
 Ko, C.S., Chung, K.H. and Shin, J.Y. (2000), Determination of Vehicle Fleet Size for Container Shuttle Service, *Korean Management Science Review*, 17(2), 87-95.
 Ko, C.S., Chung, K.H., Shin, J.Y., Kim, H.B., Yang, C.S. and Park, S.C. (2002), Determination of Vehicle Fleet Size for Container Transportation Service in a Stochastic Work Environment, *Journal of the Korean Production and Operations Management Society*, 12(3), 17-32.
 Koo, P.H and Jang, J. (2002) Vehicle Travel Time Models for AGV Systems under Various Dispatching Rules, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 14, 249-261.
 Koo, P.H. and Suh, J.D. (2002), Fleet Sizing under Dynamic Vehicle Dispatching, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineering*, 28(3), 256-263.
 Kozan, E. and Preston, P. (1999), Genetic Algorithms to Schedule Container Transfers at Multimodal terminals, *International Transactions in Operational*

- Research*, 6, 311-329
- Larporte, G. and Osman, I.H. (1995), Routing Problems: A Bibliography, *Annals of Operations Research*, 61, 227-262.
- Lehmann, M., Grunow, M. and Gunther, H.O. (2002), Dispatching Multi-Load AGVs in an Highly Automated Container Port Environment, Proceedings of the Fourth APIEMS, Taipei, Taiwan.
- Maxwell, W.L. and Muckstadt, J.A. (1981), Design of Automated Guided Vehicle Systems, *IIE Transactions*, 14(2), 114-124.
- Osman, I.H. and Wassan, N.A. (2002), A Reactive Tabu Search Metaheuristic for the Vehicle Routing Problem with Backhauls. *Journal of Scheduling*, 5(4), 263-285.
- Osman, I.H. and Larporte, G. (1996), Metaheuristics: A Bibliography, *Annals of Operations Research*, 63, 513-628
- Seo, S.K. and Lee, B.H. (1998), On Fleet Sizing and Distribution Policy of Transportation Equipments in Hub-and-Spoke Network, *IE Interfaces*, 11(1), 55-66.
- Yun, W.Y., Ahn, C.G. and Choi, Y.S. (1999), A Truck Dispatching Problem in the Inland Container Transportation with Empty Container, *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, 24(4), 63-80.



구 평 희

한양대학교 산업공학과 학사
Purdue University 산업공학 석사
Purdue University 산업공학 박사
현재: 부경대학교 산업공학과 조교수
관심분야: 생산 및 물류시스템, TOC, AGVS
설계/운영



이 운 식

고려대학교 산업공학과 학사
한국과학기술원 산업공학과 석사
한국과학기술원 산업공학과 박사
현재: 부경대학교 산업공학과 교수
관심분야: 시스템 최적화, 생산계획 및 통제,
ERP/SCM



장 동 원

부경대학교 산업공학과 학사
부경대학교 산업공학과 석사
현재: 천일정기화물자동차(주) 택배기획팀
관심분야: 로지스틱스, 컨테이너 및 화물운송