

# 컨테이너 셔틀 서비스를 위한 차량 경로 문제의 근사적 해법

신재영\* · 오성인† · 박종원\*\*

\*한국해양대학교 물류시스템공학과 교수, †,\*\*한국해양대학교 대학원

## An Efficient Heuristic to Solve Vehicle Routing Problem for Container Shuttle Service

Jae Young Shin\* · Sung Inn Oh† · Jong Won Park\*\*

\*Department of Logistics Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

†,\*\*Graduate school of National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**요 약** : 일반적으로 컨테이너 공로 운송은 근거리 운송, 장거리 운송, 셔틀 운송으로 구분되고, 컨테이너 차량은 새시 형태에 따라 20' 컨테이너 전용, 40' 컨테이너 전용, 콤바인 새시 차량으로 나눌 수 있다. 셔틀 서비스는 O/D pairs가 같은 물량이 여러 개 발생할 수 있으며, 콤바인 새시 트레일러는 20ft 컨테이너 2개를 싣거나 한 개의 40ft 컨테이너를 싣을 수 있다. 본 논문에서는 셔틀 서비스를 고려한 컨테이너 차량 경로 문제를 다루고자 한다. 문제 정의는 기존의 연구된 신재영, 오성인(2008)의 문제와 유사하지만 셔틀 서비스의 특징을 고려해야 한다. 이에 각 노드를 한 번 이상 방문할 수 있는 pick-up and delivery 제약을 가진 차량경로문제를 근간으로 하여 콤바인 새시 트레일러를 이용한 컨테이너 셔틀 운송계획 문제를 정의하고, 적합하고 효율적인 해법을 제안하고자 한다.

**핵심용어** : 컨테이너 셔틀 서비스; 차량 경로 문제; pick-up and delivery

**Abstract** : Generally, the container road transportation can be divided into three types: short distance, long distance and shuttle transportation. Specially, the shuttle service occurs several amounts of container which is same as O/D pairs. Also container vehicle can be divided into three types according to the chassis types of vehicle: only 20-feet container, only 40-feet container and combined chassis trailer. Combined chassis trailers can load two 20-feet containers or one 40-feet container. This paper deals with Vehicle Routing Problem (VRP) for delivering containers considering shuttle service. This problem is similar to the previously studied Shin and Oh (2008), but the characteristics of shuttle service must be considered additionally. We formulate the container shuttle transportation planning problem using combined chassis trailers based on VRP with pick-up and delivery which can visit each node more than one time, and propose an efficient solution procedure.

**Key words** : container shuttle service; VRP; pick-up and delivery

## 1. 서 론

현재 컨테이너 운송은 국제 물류에서 중요한 역할을 한다. 그 중에서 내륙운송은 비용측면에서 큰 비중을 차지하고 있다. 수출입 의존도가 높은 우리나라에서 효율적인 수출입 컨테이너 운송체계를 구축하는 것은 매우 중요한 국가적 과제이다. 이러한 중요성에도 불구하고 컨테이너 터미널의 설계 및 운영에 관한 연구에 비해 운송 분야는 학문적 연구가 많이 이루어지지 않았다. 본 논문에서는 컨테이너 내륙 운송의 상당부분을 차지하는 공로 운송을 대상으로 한다.

일반적으로 컨테이너 공로 운송은 로컬운송, 글로벌운송, 셔틀운송으로 구분된다. 컨테이너 터미널과 ODCY 간의 컨테이너 운송, 환적(transshipment)화물을 위한 운송, 그리고 철도수송을 위한 연결운송 등을 셔틀운송이라 한다. 그리고 로컬 또는

글로벌 운송의 경우는 화주와 대응되는 사항이므로 화주가 희망하는 시간창(time window)을 만족해야 하지만 셔틀운송은 그렇지 않다. 실제 대부분의 컨테이너 운송업체에서는 셔틀운송을 위해 필요한 차량을 대략 결정하여 우선적으로 차량을 확보한 후 셔틀만의 배차 계획을 수립하여 운영한다. 그리고 우리나라에서 셔틀 운송은 전체 컨테이너 처리 물량 중 약 20% 정도를 차지한다. 따라서 운송회사에서 효율적인 셔틀 서비스 배차 계획을 수립하는 것은 중요한 의사결정 중 하나이다.

컨테이너는 크기에 따라 20' 컨테이너, 40' 컨테이너 두 종류의 컨테이너로 표준화되어 있다. 그리고 컨테이너 내에 들어 있는 화물의 속성 측면에 따라 일반 컨테이너와 특수화물(냉동, 위험 등) 컨테이너로 분류 할 수 있으며, 특수화물은 특수 장비가 부착된 컨테이너 차량에 의해 수송이 이루어진다.

컨테이너 차량은 차체를 움직이는 부분인 트랙터(tractor)와

\* 대표저자 : 신재영(중신회원), shinjy@hhu.ac.kr 051)410-4335

† 교신저자 : 오성인(일반회원), dayssay@nate.com 051)410-4931

컨테이너가 적재되는 부분인 새시(chassis)로 구분된다. 새시는 일반적으로 20' 컨테이너 전용인 미니 새시, 40' 컨테이너 전용인 구즈넥 새시, 콤파인 새시로 나뉜다. 콤파인 새시는 20' 컨테이너 2개를 싣거나 40' 컨테이너 1개를 싣을 수 있다.

본 논문에서는 셔틀 서비스를 고려한 컨테이너 차량 경로 문제를 다룬다.

차량 경로 문제에서 특히 pick up 지점과 delivery 지점, 즉 리퀘스트(request)를 가진 VRP를 pick-up and delivery 제약이 가진 VRP(VRP\_PD)라고 한다. 그리고 VRP\_PD에서 택시 운행과 같이 capacity가 제한적인 문제를 Dial-A-Ride 문제(DARP)라고 부른다. 컨테이너 차량 경로 문제는 VRP\_PD와 DARP의 문제 설정과 유사하다.

Chung et al(2007)은 컨테이너 운송의 제반 특성들을 반영하여 운송 방식에 따라 로컬, 글로벌 그리고 셔틀 운송으로 나누어서 수학적 모형을 수립하고 간단한 해법을 제시하였다. 하지만 콤파인 새시 차량을 고려한 효율적인 해법은 제시하지 않았다. 신 등(2008)은 콤파인 새시 차량을 고려한 컨테이너 차량 경로 문제에 대한 휴리스틱 알고리즘 해법을 제시하였다. 휴리스틱 알고리즘은 리퀘스트 클러스터링을 통하여 원 문제를 m-TSP(multiple Travelling Salesman Problem)로 변경할 수 있다는 것에 주안점을 두었다. 하지만 휴리스틱 탐색 공간이 컨테이너 수에 의해 결정되기 때문에 계산시간이 너무 커져서 실제 문제에 적용하기가 어려웠다.

따라서 본 논문은 기존에 연구된 논문과 VRP\_PD/DARP를 기반으로 셔틀 서비스, 컨테이너 화물 그리고 콤파인 새시 차량의 특성을 고려하여 문제를 설정하였다. 그리고 컨테이너 공로 운송 문제를 체계적으로 접근하기 위한 수리적 모형과 휴리스틱 해법을 제시하였으며, 수치 실험을 통해 해법의 효율성을 검증하였다.

## 2. 문제 정의

차량경로 문제에서 목적함수로 생각해 볼 수 있는 것으로는 차량의 운행 비용 최소화이다. 운행 비용 최소화는 결국 가용 차량 대수의 최소화로 가능해진다. 본 논문에서는 가용 차량 대수의 최소화를 목적함수로 하였다.

셔틀운송과 콤파인 새시 차량의 특징을 고려하여 문제를 정의하면 다음과 같다.

- 각 차량은 하나의 Depot에서 출발하며, 동일한 Depot로 돌아옴
- 셔틀 운송만을 고려하기 때문에 O/D pairs가 같은 물량이 여러 개 발생할 수 있으나 각각의 O/D pair를 하나의 리퀘스트로 정의하면 각 차량은 각 지점을 한번 방문
- 각 차량의 운송에서 pick-up 지점 방문이 delivery 지점보다 우선 방문
- 콤파인 새시 차량만을 고려하며, 운송되는 모든 화물은 20' 컨테이너나 40' 컨테이너

- TEU를 화물 단위로 하면, 모든 화물의 크기는 '1'이나 '2'로 표현 될 수 있으며, 콤파인 새시를 대상으로 하기 때문에 각 차량의 최대 적재 용량은 '2'라고 가정
- 모든 차량은 동일하며, 각 차량의 일일 운행 시간은 모두 같고 제한되어 있음
- 다른 두 지점간의 운행 시간은 주어져 있다고 가정

## 3. 모형화

모델링을 위해서 먼저 운송해야 할  $n$  개의 컨테이너  $\{1, 2, \dots, n\}$  가 있다고 가정한다. 그리고 각각의 컨테이너에 대한 pick-up 노드들과 delivery 노드들을 정의한다. 컨테이너  $i$ 의 pick-up 지점을 노드  $i$ 라 하면 컨테이너  $i$ 의 delivery 지점은 노드  $n+i$ 이 된다. 즉, 운송 대상 컨테이너가  $n$  개 이면 노드의 수는  $2n$  개이다. 모형에서 사용되는 notation과 결정변수는 다음과 같다.

### Notation

$N_1 = \{1, 2, \dots, n\}$  : pick-up 노드의 집합

$N_2 = \{n+1, n+2, \dots, 2n\}$  : delivery 노드의 집합

$N = N_1 + N_2 + \{0\}$

$K$  : combined 새시 컨테이너 차량의 집합

$s_j$  : 노드  $j$ 에서 20' 컨테이너가 상차되면 1, 40' 컨테이너가 상차되면 2, 20' 컨테이너가 하차되면 -1, 40' 컨테이너가 하차되면 -2

$T$  : 차량의 하루 최대 운행 시간

$t_{ij}$  : 노드  $i$ 에서의 서비스(상·하차) 시간과 노드  $i$ 에서 node  $j$ 까지 운행시간의 합

### 결정 변수

$x_{ij}^k$  : 차량  $k$ 가 노드  $i$ 에서 노드  $j$ 로 운행하면 1, 그렇지 않으면 0

$t_i^k$  : 노드  $i$ 에서 차량  $k$ 의 도착 시간

$w_i^k$  : 차량  $k$ 가 노드  $i$ 에서 출발할 때 차량  $k$ 의 적재된 화물 크기

문제를 모델링하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{0j}^k & (1) \\ & \text{subject to} \end{aligned}$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ji}^k = 1 \quad i \in N, i \neq 0 \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^k = \sum_{j \in N} x_{ji}^k \quad i \in N, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0j}^k \leq 1 \quad k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^k = \sum_{j \in N} x_{j, n+i}^k \quad i \in N_1, k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^k = 1 \rightarrow t_i^k + t_{i, n+i} \leq t_{n+i}^k \quad i \in N_1, k \in K \quad (6)$$

$$x_{ij}^k = 1 \rightarrow t_i^k + t_{ij} \leq t_j^k \quad i \in N, j \in N, j \neq 0, k \in K \quad (7)$$

$$t_0^k = 0 \quad k \in K \quad (8)$$

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

$$x_{ij}^k = 1 \rightarrow w_i^k + s_j \leq w_j^k \quad i \in N, j \in N, k \in K \quad (10)$$

$$w_0^k = 0 \quad k \in K \quad (11)$$

$$w_i^k \leq 2 \quad i \in N, k \in K \quad (12)$$

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

$$t_i^k \geq 0, w_i^k \geq 0 \quad i \in N, k \in K \quad (14)$$

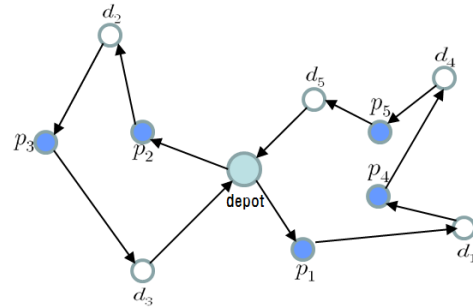
목적함수인 (1)은 컨테이너 운송에 사용된 전체 차량 대수의 최소화를 나타낸다. 제약조건 (2)는 반드시 하나의 차량이 노드  $i$  를 방문해야 한다는 의미이고, (3)은 네트워크의 흐름보존법칙(flow conservation rule)을 의미한다. 그리고 (4)는 차량의 가용성을 의미한다. (5)와 (6)은 pick-up 노드와 delivery 노드의 선후 관계를 나타내며, (7)은 차량  $k$  가 노드  $i$  에서 노드  $j$  로 이동할 경우 두 노드사이의 시간 제약조건을 의미한다. (8)과 (9)는 차량  $k$  의 운행 시간에 대한 제한을 나타낸다. (10)은 차량  $k$  가 노드  $i$  에서 노드  $j$  로 이동할 경우 각 노드에서 차량  $k$  에 적재된 화물의 크기에 대한 관계를 규정하는 것이다. (11)은 시작 노드에서 차량  $k$  는 빈 차량으로 출발한다는 것을 의미하며, (12)는 차량  $k$  의 최대 적재 용량 제한이다.

#### 4. 해법 연구

본 장에서는 상기에서 정의한 문제에 대한 해법으로 적합하고 효율적인 알고리즘을 제시한다.

콤바인 새시 차량을 이용한 차량 경로 문제에서 40ft 컨테이너의 운송은 일반적인 DARP의 네트워크(Fig. 1 참조)와 동일

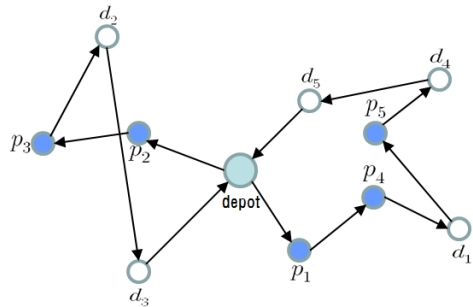
하다. 하지만 콤바인 새시 트레일러를 이용한 차량경로 문제는 화물이 20ft 컨테이너일 때 Fig. 2와 같이 다른 네트워크를 가질 수도 있다.



차량 1 : depot → p<sub>1</sub> → p<sub>4</sub> → d<sub>1</sub> → p<sub>5</sub> → d<sub>4</sub> → d<sub>5</sub> → depot

차량 2 : depot → p<sub>2</sub> → p<sub>3</sub> → d<sub>3</sub> → d<sub>3</sub> → depot

Fig. 1 General Dial-A-Ride network



차량 1 : depot → p<sub>1</sub> → d<sub>1</sub> → p<sub>4</sub> → d<sub>4</sub> → p<sub>5</sub> → d<sub>5</sub> → depot

차량 2 : depot → p<sub>2</sub> → d<sub>2</sub> → p<sub>3</sub> → d<sub>3</sub> → depot

Fig. 2 20' container transportation network using combined chassis trailers

콤바인 새시 트레일러의 적재 용량은 '2' 이기 때문에 40ft 컨테이너의 운송에서 차량은 pick-up 노드를 방문한 후에는 반드시 delivery 노드를 방문해야 한다. 반면에 20ft 컨테이너 운송에서는 Fig. 2 와 같이 리퀘스트 2개 내지 3개의 방문 순서가 꼬이는 경우도 발생할 수 있다.

본 연구에서 제시하는 해법은 크게 노드 클러스터 단계와 m-TSP(multiple-Travelling Salesman Problem) 해법 단계로 나누어진다.

노드 클러스터 단계는 연속 방문 가능한 리퀘스트들을 클러스터하여 하나의 노드로 만드는 단계이다. 이렇게 콤바인 새시 차량의 특징을 이용하여 노드를 클러스터하게 되면 기존의 제약조건에서 capacity 제약과 pick-up and delivery 제약이 없어지기 때문에 m-TSP 구조로 문제를 변경할 수 있다. 기존의 많은 논문에서 다양하고 효율적인 m-TSP에 대한 해법이 제시되었다. 본 논문에서는 Insertion 알고리즘을 이용하여 문제를 풀었으며, m-TSP 해법 단계에 대한 추가 설명은 하지 않는다.

노드 클러스터 단계에 대한 해법은 휴리스틱 알고리즘(HA2)과 타부서치 알고리즘(TA)을 제시하였다.

신 등(2008)에서 제안한 휴리스틱 알고리즘(HA1)은 클러스터 대상 노드가 전체 노드이기 때문에 서치 영역이 커져서 계산시간이 많이 걸렸다. 반면에 본 논문에서는 서플운송을 대상으로 하기 때문에 같은 pick up/delivery 노드를 가진 컨테이너는 클러스터 대상에서 제외시킬 수 있다. 따라서 계산시간을 많이 줄일 수 있다.

휴리스틱 알고리즘과 타부서치 알고리즘의 상세 단계는 다음과 같다.

**휴리스틱 알고리즘**

Step 1 모든 40ft 컨테이너 리퀘스트 각각을 하나의 노드로 클러스터

Step 2 물류 거점 수( $DC$ )에 의해 노드를 구성  
 노드의 수( $b$ ) =  $DC \times (DC - 1) \times 2$

Step 3 20ft 컨테이너 리퀘스트 클러스터

Step 3.1 각각의 리퀘스트의 클러스터 대상 집합( $Q$ ) 생성

Step 3.2 거리(시간) 단축 값( $\theta$ )이 최대인 것부터  $Q$  를 정렬하여 순서대로 클러스터

Step 3.3  $Q$  에 동일한 리퀘스트가 포함되어 있으면 일일최대운행시간( $T$ )을 초과하지 않는 범위 내에서 모두 클러스터. 초과하면 정렬된 순서대로 클러스터. 나머지는  $Q$  에서 제거

Step 3.4  $Q$  가 공집합이 되면 클러스터 되지 않은 리퀘스트 각각을 하나의 노드로 클러스터

Step 3.5 결정된 클러스터 노드에 일치하게 컨테이너 물량을 최대한 할당

Step 3.6 현재 정의된 노드를 컨테이너 물량이 모두 할당된 노드를 제외하여 노드를 재구성

Step 4  $b = 0$  가 될 때까지 step 3 을 반복

**타부서치 알고리즘**

Step 1 모든 40ft 컨테이너 리퀘스트 각각을 하나의 노드로 클러스터

Step 2.  $DC$  에 의해 노드를 구성  
 $b = DC \times (DC - 1) \times 2$

Step 3. 20ft 컨테이너 리퀘스트 클러스터

Step 3.1 (초기해 단계)

각각의 pickup and delivery 노드 쌍 클러스터

최적운행시간( $bestS$ ) =  $tempS$ (Step 3.3을 통해 얻은 평가 값)

타부목록( $tbL$ ) =  $\Phi$ , 타부목록 크기 = 3

Step 3.2 (이웃해 탐색 단계)

각각의 리퀘스트( $r_i$ )를 현재 클러스터에서 제거하고 다른 클러스터에 삽입하는 방법으로 이웃해( $Ns$ ) 탐색.  $tbL \ni r_i$  면 이웃해 탐색 금지

Table 1 Data for transportation orders

From To	Umgung	Suyoung	Yongdang	P.E.C..T	Jasungdae	Gamcheon	Station	U.T.C
Umgung		30(40') 8(20')			1 3			48 15
Suyoung	8 24			36 13	47 3			
Yongdang					25 5	1 26		13 13
P.E.C..T		29 6			17 28		11 10	
Jasungdae	26 15	8 20	48 3	28 6		23 16	46 17	3 18
Gamcheon			41 5		9 9			45 28
Station				7 15	38 6			
U.T.C	45 29		4 29		10 22	32 22		

Table 2 Travel time matrix(unit: min)

From To	Umgung	Suyoung	Yongdang	P.E.C..T	Jasungdae	Gamcheon	Station	U.T.C
Umgung	0	50	30	40	30	30	30	35
Suyoung		0	30	40	30	35	35	35
Yongdang			0	10	30	35	35	25
P.E.C..T				0	20	25	25	20
Jasungdae					0	5	5	10
Gamcheon						0	5	15
Station							0	15
U.T.C								0

Step 3.3 (해 평가 단계)

$N_s$ 를 Insertion 알고리즘을 이용하여  $tempS$  값을 정의  
 만일  $bestS < tempS$  면  $r_i$ 를  $tbL$ 에 등록,  
 $bestS = tempS$ , Step 3.2 로 이동.

그렇지 않으면 Step 3.4로 이동

Step 3.4 (강화 단계 및 종료)

현재 최적해의 클러스터 내부 경로 순서를 교환하여 개  
 선하고 종료

Step 4 결정된 클러스터 노드에 일치하게 컨테이너 물량을  
 최대한 할당

Step 5 현재 정의된 노드를 컨테이너 물량이 모두 할당된 노  
 드를 제외하여 노드를 재구성

Step 6  $b = 0$  가 될 때까지 Step 3, 4, 5 를 반복

### 5. 수치 실험

Chung et al(2007)에서 이용한 실제 데이터에 대해 수치 실험  
 을 하였다. 신 등(2008)에서 제시한 해법(HA1)과 본 논문에서  
 제시한 휴리스틱 알고리즘을 이용한 해법(HA2), 타부서치  
 알고리즘을 이용한 해법(TA)을 해당 문제의 해법으로 수행하  
 여 비교 및 분석하였다.

Table 1과 Table 2는 한 컨테이너 운송 회사로부터 얻은 자  
 료이며, 각 거점별 운송 물량과 운행 시간을 나타낸다. 모든 물  
 량은 하루에 처리되어야 하며, 운송되는 총 컨테이너 수는 1093  
 개 이며, 물류 센터는 8개이다. 그리고 모든 차량은 콤팩트 새  
 시 차량이며, 가용차량은 93대, 각 차량의 최대 운행 시간은 8  
 시간, 컨테이너의 양적화 시간은 5분으로 가정하였다.

Table 3은 세 가지 다른 해법에 대한 수행 결과 및 계산 시  
 간을 보여준다. 서틀 운송의 특성을 이용하여 탐색 영역을 줄인  
 결과 HA1의 계산시간(5004.238초)보다 HA2의 계산시간(5.325  
 초)이 매우 빠른 것을 볼 수 있다. 그리고 HA2와 TA를 비교하  
 면 계산 시간은 더 늘어나지만 어느 정도 유의한 수준이고, 반  
 면에 운행 차량 대수는 14대가 줄어들기 때문에 TA가 효율적  
 이라고 말할 수 있다. Table 4와 같이 랜덤 생성한 문제에 대  
 해 본 논문에서 제시한 해법을 수행하였다. Case 1은 원문제와  
 동일한 상태에서 컨테이너 수를 변화시킨 문제이며, 나머지는  
 랜덤 생성한 문제이다. 실험 결과 계산시간은 TA가 HA2보다  
 많이 걸리지만 해는 매우 개선되는 것을 볼 수 있다.

Table 3 Experimental Results

해 법	차량 당 평균 운행시간 (hour)	운행 차량 대수	계산 시간 (sec)
HA1	7.464	67	5004.238
HA2	7.464	67	5.625
TA	7.616	53	308.762

Table 4 Random experimental cases and results

Case	거점수/ 컨테이너수	해법	차량 당 평균 운행시간 (hour)	운행차량 대수	계산시간 (sec)
1-1	-/1533	HA2	7.459	89	10.828
		TA	7.603	70	6566.203
1-2	-/1712	HA2	7.508	99	12.921
		TA	7.657	66	8636.750
1-3	-/2153	HA2	7.545	120	22.386
		TA	7.647	89	7807.313
1-4	-/2710	HA2	7.469	158	41.558
		TA	7.654	112	7206.598
1-5	-/3011	HA2	7.490	183	60.578
		TA	7.652	140	8547.219
2-1	6/1474	HA2	7.551	78	6.968
		TA	7.650	57	470.609
2-2	6/1261	HA2	7.726	55	5.656
		TA	7.622	49	267.687
2-3	6/1443	HA2	7.344	89	5.984
		TA	7.605	55	387.343
2-4	6/1382	HA2	7.501	59	5.593
		TA	7.594	44	452.593
2-5	6/1508	HA2	7.642	74	8.500
		TA	7.696	61	465.859
3-1	7/2014	HA2	7.557	114	21.343
		TA	7.586	97	1722.375
3-2	7/2133	HA2	7.609	89	20.125
		TA	7.739	67	2142.016
3-3	7/2038	HA2	7.701	109	17.406
		TA	7.737	81	2214.625
3-4	7/1880	HA2	7.644	85	14.453
		TA	7.664	66	2694.605
3-5	7/2037	HA2	7.541	93	19.046
		TA	7.625	64	1967.457
4-1	8/2272	HA2	7.638	109	24.910
		TA	7.679	81	9490.172
4-2	8/2165	HA2	7.492	121	20.152
		TA	7.577	91	11632.02
4-3	8/2071	HA2	7.439	126	20.734
		TA	7.630	92	9238.688
4-4	8/2264	HA2	7.562	113	25.156
		TA	7.629	89	7662.672
4-5	8/2113	HA2	7.373	123	19.546
		TA	7.614	98	7769.914
5-1	9/2139	HA2	7.587	114	23.453
		TA	7.626	92	33603.00
5-2	9/2330	HA2	7.659	99	28.000
		TA	7.728	82	28349.39
5-3	9/2268	HA2	7.570	93	23.328
		TA	7.686	77	47113.36
5-4	9/2394	HA2	7.546	120	26.582
		TA	7.635	91	39441.41
5-5	9/2167	HA2	7.651	89	19.437
		TA	7.647	68	55366.03

### 6. 결론

차량 경로 문제에 대한 연구는 많이 이루어져 왔다. 컨테이너  
 공로 운송에서 차량 경로 문제는 컨테이너와 컨테이너 차량의  
 특성 때문에 기존의 차량 경로 문제보다 제약을 더 완화시킬  
 수 있다. 문제 정의는 기존의 연구된 신 등(2008)과 유사하지만  
 서틀 운송의 특징까지 고려하였다. 이에 각 노드를 한 번 이상  
 방문할 수 있는 VRP\_PD와 DARP를 근간으로 하여 콤팩트 새  
 시 차량을 이용한 컨테이너 서틀 운송계획 문제를 설정하였다.  
 휴리스틱 알고리즘과 타부 서치를 이용하여 효율적인

해법을 제시하였으며, 기존의 해법과 비교하여 유용성을 검증하였다.

향후 콤팩트 새시 차량뿐 만이 아닌 20ft/40ft 전용 새시 트레일러까지 고려한 컨테이너 차량 경로 문제에 대한 연구가 필요하다. 그리고 차량의 운영방식을 고려한 컨테이너 차량 경로 문제에 대한 연구 역시 필요할 것으로 보인다.

## 참고 문헌

- [1] 김상현, 고창두(2003), “환경비용을 고려한 수출입컨테이너 화물의 운송경로 선택에 관한 연구”, 한국항해항만학회, 27권, 2호, pp.155-162.
- [2] 신재영, 오성인(2008), “Combined chassis 트레일러를 이용한 컨테이너 차량 경로 문제”, 한국항해항만학회 2008 공동학술대회, 논문집, pp.155-156.
- [3] 윤원영, 류숙재(2007), “내륙 운송 체계 하에서 컨테이너의 최적 운송관리에 관한 연구”, 한국항해항만학회, 31권, 2호, pp.207-209.
- [4] 윤항목, 황홍석, 김형보(2005), “컨테이너 운송체계 개선을 위한 화물수거-배송계획 시스템 개발”, 한국항해항만학회, 29권, 3호, pp.221-226.
- [5] Bianchessi, N. and Righini, G.(2007), “Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery”, *Computers & Operational Research*, 34, pp.578-594.
- [6] Chung, K. H., Ko, C. S., Shin, J. Y., Hwang, H., and Kim, K. H.(2007), “Development of mathematical models for the container road transportation in Korean trucking industries”, *Computers & Industrial Engineering*, 53, pp.252-262.
- [7] Cordeau, J. F. and Laporte, G.(2003a), “A tabu search heuristic for the static multi-vehicle dial-a-ride problem”, *Transportation Research Part B*, 37, pp.579-594.
- [8] Cordeau, J. F. and Laporte, G.(2003b), “The Dial-a-Ride Problem (DARP): Variants, modeling issues and algorithms”, *4OR*, 1, pp.89-101.
- [9] Cordeau, J. F. and Laporte, G.(2007), “The dial-a-ride problem: models and algorithms”, *Annals of operations research*, 153, pp.29-46.
- [10] Dethloff, J.(2001), “Vehicle routing and reverse logistics: The vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up”, *OR Spektrum*, 23, pp.79-96.
- [11] Fermin, A. T. M. and Roberto, D. G.(2006), “A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service”, *Computers & Operations Research*, 33, pp.595-619.
- [12] Ganesh, K. and Narendran, T. T.(2007), “CLOVES: A cluster-and-search heuristic to solve the vehicle routing problem with delivery and pick-up”, *European Journal of Operational Research*, 178, pp.699-717.
- [13] Gendreau, M., Laporte, G., and Vigo, D.(1999), “Heuristics for the traveling salesman problem with pickup and delivery”, *Computers & Operations Research*, 26, pp.699-714.
- [14] Healy, P. and Moll, R.(1995), “A new extension of local search applied to the Dial-A-Ride Problem”, *European Journal of Operational Research*, 83, pp.83-104.
- [15] Kalantari, B., Hill, A. V., and Arora, S. R.(1985), “An algorithm for the traveling salesman problem with pickup and delivery customers”, *European Journal of Operational Research*, 22, pp.377-386.
- [16] Luo, Y. and Schonfeld, P.(2007), “A rejected-reinsertion heuristic for the static Dial-A-Ride Problem”, *Transportation Research Part B*, 41, pp.736-755.
- [17] Mosheiov, G.(1998), “Vehicle routing with pick-up and delivery: tour-partitioning heuristics”, *Computers & Industrial Engineering*, 34, pp.669-684.
- [18] Nagy, G. and Salhi, S.(2005), “Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries”, *European Journal of Operational Research*, 162, pp.126-141.
- [19] Roberto, W. C. and Alberto, C.(2007), “An effective and fast heuristic for the Dial-a-Ride problem”, *4OR*, 5, pp.61-73.
- [20] Vigo, D.(1996), “A heuristic algorithm for the Asymmetric Capacitated Vehicle Routing Problem”, *European Journal of Operational Research*, 89, pp. 108-126.

---

원고접수일 : 2009년 8월 10일  
 심사완료일 : 2009년 10월 5일  
 원고채택일 : 2009년 10월 5일