

다수의 도어를 갖는 크로스도킹 터미널에서 입고와 출고를 병행하는 트럭일정계획을 위한 유전알고리즘

주철민¹ · 김병수^{2*}

¹동서대학교 시스템경영공학과 / ²부경대학교 기술경영(MOT) 일반대학원

A Genetic Algorithm for Scheduling of Trucks with Inbound and Outbound Process in Multi-Door Cross Docking Terminals

Cheol Min Joo¹ · Byung Soo Kim²

¹Department of System and Management Engineering, Dongseo University, Busan 617-716, Korea

²Graduate School of Management of Technology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Cross docking is a logistics management concept in which items delivered to a terminal by inbound trucks are immediately sorted out, routed and loaded into outbound trucks for delivery to customers. Two main advantages by introducing a cross docking terminal are to consolidate multiple smaller shipment into full truck load and remove storage and order picking processes to save up logistics costs related to warehousing and transportation costs. This research considers the scheduling problem of trucks in the cross docking terminals with multi-door in an inbound and outbound dock, respectively. The trucks sequentially deal with the storage process at the one of inbound doors and the shipping process at the one of the outbound doors. A mathematical model for an optimal solution is derived, and genetic algorithms with two different chromosome representations are proposed. To verify performance of the GA algorithms, we compare the solutions of GAs with the optimal solutions and the best solution using randomly generated several examples.

Keywords: Cross Docking Terminal, Truck Scheduling, Genetic Algorithm, Logistics

1. 서론

전통적인 물류 터미널에서 내부의 입고 및 출고 물품들에 대한 저장(Storing) 및 불출(Retrieving)과 관련된 물류처리(Material handling)작업들은 고비용이 소요되는 노동집약적인 부분이다. 크로스도킹(Cross docking) 터미널은 새로운 개념의 물류터미널 운영방식으로 다양한 물품의 소단위 배송이 요구되는 고객의 물품주문을 신속하게 처리하여 JIT(Just In Time) 배송하는데 효과적이며, 기존 물류터미널의 고비용의 노동집약적인 저장과 불출작업을 근본적으로 제거하여 터미널 내부의 물류비용의 획기적인 절감을 이룰 수 있다. 또한, 크로스도킹 터미널은 서로 다른 공급지점으로부터 특정 배송지점으로 각각 따로

수송하는 다수의 LTL(Less-than Truckload) 트럭들의 물품들을 터미널에서 취합하여 FTL(Full truckload) 트럭을 구성한 후, 한꺼번에 특정 배송지로 수송하여 물류운송비용을 획기적으로 줄일 수 있다. 이와 같이, 고객주문에 대한 리드타임(Lead time)의 감소로 인한 고객서비스 향상 및 물류수송비용의 절감을 동시에 획득할 수 있는 혁신적인 물류터미널 개념이 바로 크로스도킹 터미널이다(Apte and Viswanathan, 2000). 크로스도킹 터미널은 택배회사나 식자재 유통회사와 같은 그 신속성이 경쟁력의 근간되는 회사에서 필수적으로 운영하고 있다.

일반적인 크로스도킹 터미널은 <Figure 1>과 같이 저장과 반출 작업 없이 입고 트럭으로부터 반입된 물품을 출고 트럭 별로 즉시 분류하여 선적하는 개념이다. 터미널 내의 작업지

* 연락처 : 김병수 교수, 608-737 부산광역시 남구 용소로 45번지 부경대학교 B21 가온관 기술경영(MOT) 일반대학원,

Tel : 051-629-6491, Fax : 051-629-6496, E-mail : iekbs@pknu.ac.kr

2010년 11월 30일 접수; 2011년 8월 11일 게재 확정.

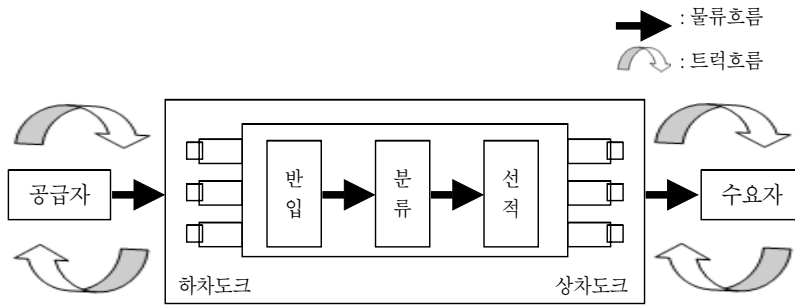


Figure 1. Logistics and truck flows in a conventional cross docking terminal

역들은 크게 두 지역으로 나뉘어진다. 창고로 들어온 트럭들의 물품들을 하역하는 반입지역과 배송지로 가는 트럭들에 선적하는 선적지역으로 구분할 수 있다. 하차도크로 들어온 트럭으로부터 물품들은 배송지별로 분류작업을 한 후 선적지역으로 이동하여 상차도크에서 해당 배송트럭으로 선적되게 된다.

지금까지 몇 가지 크로스도킹 적용의 성공사례에 대한 연구가 대표적인 물류체인을 가진 회사들로부터 보고되어 왔다 (Wal Mart, 1992; UPS, 1995; Toyota, 1998; Less-than-truckload, LTL; providers, 1999). 크로스도킹 시스템은 Apte and Viswanathan(2000)의 연구에 의해 처음으로 물류네트워크의 효율을 개선할 수 있는 기술로 크로스도킹 시스템을 소개하였고, Bartholdi and Gue(2004)는 크로스도킹 시스템에 가장 적합한 디자인을 연구하였다. Sung and Song(2003)은 크로스도킹 센터의 입지 선정과 차량 할당문제를 해결할 수 있는 통합서비스네트워크 설계 문제를 다루었으며, Lee et al.(2006)은 공급사슬에서 크로스도킹과 수거와 배달 프로세스를 통합한 모델을 제안하였다. 그 외, 고창성 등(2006), Oh et al.(2006), Ley and Elfayoumy (2007), 그리고 Miao et al.(2009)은 크로스도킹 터미널의 운영에 있어 입차 또는 출차우치의 결정에 관한 문제를 다루었다. Li et al.(2004)은 트럭의 배송시간창(delivery time windows)을 고려한 JIT(Just In Time) 일정계획에 관한 연구를 하였다. 크로스도킹에 대하여 다양한 연구가 이루어지고 있으나, 입고 및 출고 트럭의 일정계획문제에 대한 연구는 매우 제한적으로 이루어졌다. 트럭일정계획 문제를 다룬 몇 가지 논문들 중 입고/출고 도어가 한 개라는 가정 하에서 입고 및 출고 트럭들의 순서

결정문제에 관한 연구들이 시행되었다. 이 연구들은 입고 및 출고 트럭순서결정문제와 도어할당문제를 동시에 해결해야 하는 다수의 입고 및 출고 도어를 가진 트럭일정계획 문제에 대한 기본적인 접근방법을 제시해 주는 연구들이라고 할 수 있다. 먼저, Yu and Egbelu(2008)는 임시저장소(Temporary Storage)가 있는 크로스도킹 총 터미널 운영시간(Makespan)을 최소화하기 위한 입고트럭 및 출고트럭의 작업 순서를 결정하기 위해 수리모형을 수립하고, 휴리스틱 알고리즘을 제시하였다. Vahdani and Zandieh(2009)는 Yu and Egbelu(2008)가 다룬 문제를 메타휴리스틱들을 적용하여 해결하였다. Boysen et al.(2010)은 Yu and Egbelu(2008)가 제시한 복잡한 물류처리(Material handling) 장치에 관한 제약식들이 현실적인 결과를 왜곡시킬 수 있다는 점을 언급하고 단순화시켜 보다 총괄적인(Aggregation)한 관점에서 수리적 모델 제안하고 문제를 분석하였다. Joo and Kim(2011)은 단일 입/출고 도어의 가정 하에 입고와 출고를 병행하는 트럭 일정계획에 관한 연구를 시행하였다.

크로스도킹 터미널에서 물류비용의 효율적 관리를 위한 일반적인 입고 및 출고 트럭관리 정책 중 하나는 입고트럭들이 하차도어에서 하역작업을 마친 후, 공트럭(Empty Truck)상태로 공급지점으로 돌아가기 보다는 상차도어로 이동하여 화물을 선적하여 FTL(Full truck-load)트럭 상태로 지정된 배송지로 출발하는 것이다. <Figure 2>는 다수의 입고 및 출고 도어를 가지는 크로스도킹 터미널의 물류 및 입고 및 출고를 병행하는 트럭의 흐름을 묘사하고 있다.

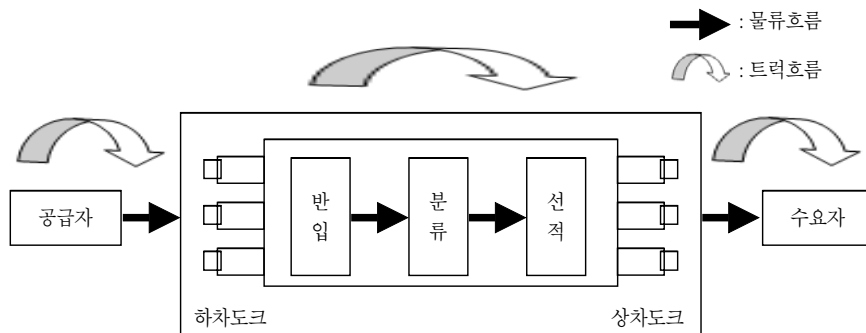


Figure 2. Logistics and truck flows in a crossdocking terminal of this study

본 연구에서는 Joo and Kim(2011)의 연구를 확장하여 다수의 입/출고 도어 상황 하에 크로스도킹 터미널 및 트럭흐름 환경 하에서 트럭일정계획의 중요한 두 가지 요소인 입출고 트럭의 도어할당 문제와 입고트럭의 하역순서결정 및 출고트럭의 선적 순서결정 문제를 동시에 해결하고자 한다. 문제의 해결을 위해 수리적 모형을 수립하고 효율적인 해법을 제시하기 위해 메타휴리스틱(Meta-heuristic) 기법 중 하나인 유전알고리즘(Genetic Algorithm)을 제시한다.

2. 문제 정의 및 수리 모형

본 연구는 m개의 하차도어와 n개의 상차도어가 서로 분리되어 있는 크로스도킹 터미널을 대상으로 한다. 입고트럭은 하차도크 내의 도어 중 한곳에 할당되어 순차적으로 화물을 하역하고, 하역된 화물들은 출고트럭별로 분류되어 상차도크로 이동한다. 해당 출고트럭이 상차도어에 없어 바로 선적되지 못하는 화물은 상차도크의 임시 보관소에 저장하였다가 해당 출고트럭이 상차도크 내의 상차도어 중 한곳에 도착하게 되면 선적된다. 모든 화물들이 하역된 트럭은 즉시 상차도크로 이동한다. 화물은 종류에 관계없이 기본 단위별로 하역 및 선적되며, 입고 및 출고트럭의 일정에 따라 그 순서가 달라질 수 있다. 각 입고트럭들의 하역대상 화물종류 및 화물량과 출고트럭들의 선적대상 화물종류 및 화물량은 미리 알려져 있다고 가정한다. 화물 기본단위의 하역 및 선적 시간은 1단위시간으로 동일하게 주어지며, 하차도크에서 상차도크로의 화물 이동 시간 및 입고트럭 및 출고트럭의 교체시간은 고정 값으로 미리 주어져있다고 가정한다. 하차지점에서 상차지점으로 트럭이 이동하는 시간도 미리 주어져 있다고 가정한다.

본 연구에서 다루는 크로스도킹 터미널의 입고 및 출고트럭 일정계획문제의 목적은 총 터미널 운영시간(Makespan)을 최소화 하는 것이다. 총 터미널 운영시간은 첫 번째 입고트럭이 화물 하역을 시작하는 시점부터 마지막 출고 트럭에 마지막 화물을 선적 완료하는 시점까지를 의미한다. 다수의 도어를 갖는 크로스도킹 터미널에서 입고 및 출고를 병행하는 트럭들의 총 터미널 운영시간을 최소화하는 일정계획문제에 관한 혼합정수계획(Mixed Integer Programming) 모형은 다음과 같다.

<파라미터>

- R : 트럭 수(입고 및 출고병행)
- N : 화물종류 수
- I : 하차도어 수
- O : 상차도어 수
- r_{ik} : 입고트럭 i 가 하역할 화물 k 의 수량
- s_{jk} : 출고트럭 j 가 선적할 화물 k 의 수량
- TR : 하차지점에서 상차지점으로의 트럭 이동시간
- DE : 트럭이 도어로 진입하는 시간

- DL : 작업을 마친 후 트럭이 도어에서 빠져나가는 시간
- V : 컨베이어를 통한 하차도크에서 상차도크로의 화물 이동 및 분류시간
- M : 양의 큰 수

<연속 변수>

- T : 총 터미널 운영시간(Makespan)
- c_i : 트럭 i 의 하역 시작시간
- F_i : 트럭 i 의 하역 완료시간
- d_i : 트럭 i 의 선적 시작시간
- L_i : 트럭 i 의 선적 완료시간

<정수 변수>

- x_{ijk} : 입고트럭 i 에서 하역되어 출고트럭 j 로 선적되는 화물종류 k 의 수량

<이진 변수>

- $v_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{입고트럭 } i \text{에서 출고트럭 } j \text{로 화물이 하나라도} \\ & \text{이송되면} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
- $p_{ijm} = \begin{cases} 1 & \text{하차도어 } m \text{에서 트럭 } i \text{의 일정이 트럭 } j \text{의} \\ & \text{일정보다 앞서면} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
- $q_{ijn} = \begin{cases} 1 & \text{상차도어 } n \text{에서 트럭 } i \text{의 일정이 트럭 } j \text{의} \\ & \text{일정보다 앞서면} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
- $y_{im} = \begin{cases} 1 & \text{입고트럭 } i \text{가 하차도어 } m \text{에 할당되면} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
- $z_{in} = \begin{cases} 1 & \text{출고트럭 } i \text{가 상차도어 } n \text{에 할당되면} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

<혼합정수계획 모형>

$$\text{Minimize } T$$

$$\text{Subject to } T \geq L_i, \quad \text{for } \forall i \quad (1)$$

$$F_i \geq c_i + \sum_{k=1}^N r_{ik}, \quad \text{for } \forall i \quad (2)$$

$$F_i + (DL + DE) \leq c_j + M \cdot \left(1 - \sum_{m=1}^I p_{ijm}\right),$$

$$\text{for } \forall i, j \text{ and where } i \neq j \quad (3)$$

$$\sum_{m=1}^I y_{im} = 1, \quad \text{for } \forall i, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^R p_{iim} = 1, \quad \text{for } \forall m, \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^R p_{jim} = y_{im}, \quad \text{for } \forall i, m \quad (6)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^R p_{ijm} \leq y_{im}, \quad \text{for } \forall i, m \quad (7)$$

$$L_i \geq d_i + \sum_{k=1}^N s_{ik}, \quad \text{for } \forall i, \quad (8)$$

$$L_i + (DL + DE) \leq d_j + M \cdot \left(1 - \sum_{n=1}^O q_{ijn}\right), \quad \text{for } \forall i, j \text{ and where } i \neq j \quad (9)$$

$$\sum_{n=1}^O z_{in} = 1, \quad \text{for } \forall i, \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^R q_{iin} = 1, \quad \text{for } \forall n, \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^R q_{jin} = z_{in}, \quad \text{for } \forall i, n \quad (12)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^R q_{ijn} \leq z_{in}, \quad \text{for } \forall i, n \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^R x_{ijk} = r_{ik}, \quad \text{for } \forall i, k, \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^R x_{ijk} = s_{jk}, \quad \text{for } \forall j, k, \quad (15)$$

$$\sum_{k=1}^N x_{ijk} \leq M \cdot v_{ij}, \quad \text{for } \forall i, j, \quad (16)$$

$$F_i + V \leq d_j + M \cdot (1 - v_{ij}), \quad \text{for } \forall i, j, \quad (17)$$

$$F_i + (DL + DE) + TR \leq d_i, \quad \text{for } \forall i, \quad (18)$$

$$\text{all variables} \geq 0 \quad (19)$$

제약식 (1)은 목적적인 총 터미널 운영시간을 계산하기 위한 제약식이다. 제약식 (2)는 하역시작시점 c_j 와 하역완료시점 F_i 의 관계를 나타내며, 제약식 (3)은 동일 하차도어에 할당된 트럭의 하역선후관계를 고려한 하역시작시점을 제약한다. 제약식 (4)는 각 트럭은 반드시 하나의 하차도어에만 할당되어야 됨을 나타내고, 제약식 (5)~제약식 (7)은 동일한 하차도어에 할당된 모든 트럭들은 반드시 그리고 한번만 그 하차도어의 하역순서상에 나타나야 됨을 제약한다. 여기서 p_{im} 은 트럭 i 가 하차도어 m 의 하역순서상에 최초의 트럭인지를 나타내는 변수로 사용된다. 제약식 (8)은 선적시작시점 d_i 와 선적완료시점 L_i 의 관계를 나타내며, 제약식 (9)는 동일 상차도어에 할당된 트럭의 선적선후관계를 고려한 선적시작시점을 제약한다. 제약식 (10)는 각 트럭은 반드시 하나의 상차도어에만 할당되어야 됨을 나타내고, 제약식 (11)~제약식 (13)은 동일한 상차도어에 할당된 모든 트럭들은 반드시 그리고 한번만 그 상차도어의 선적순서상에 나타나야 됨을 제약한다. 여기서 q_{in} 은 트럭 i 가 상차도어 n 의 선적순서상에 최초의 트럭인지를 나타내는 변수로 사용된다. 제약식 (14)는 하나의 입고트럭에서 하역되어 각각의 출고트럭으로 선적되는 종류별 화물의 수량은 해당 입고트럭의 하역될 종류별 화물의 총 수량과 같아야 함을 의미하며, 제약식 (15)는 각각의 입고트럭에서 하역되어 하나의 출고트럭으로 선적되는 종류별 화물의 수량은 해당 출고트럭의 선적되어야 할 종류별 화물의 총수량과 같아야 함을 의미한다. 제약식 (16)은 변수 x_{ijk} 와 v_{ij} 간의 정확한 관계를 정

의하기 위한 것이다. 제약식 (17)는 트럭 i 에서 하역되어 트럭 j 로 선적되는 화물이 존재하는 경우 트럭 j 의 선적시작은 해당 화물이 모두 준비되는 시점 이후가 되어야 함을 나타내며, 이는 트럭 j 의 화물에 의한 선적지연을 산정한다. 제약식 (18)은 트럭 i 의 선적시작은 트럭 i 가 화물을 모두 하역하고 하차도크로부터 상차도크까지의 이동한 시점 이후가 되어야 함을 나타내며, 이는 입출고 병행에 따른 트럭 i 의 선적지연을 산정한다.

3. 유전알고리즘

제 2장에서 제시한 혼합정수계획 모형을 이용하여 한정된 시간(7,200초) 내에 최적해를 구하는 것은 실험결과 트럭의 수가 7개 이상이 되면 어렵다. 이에 본 연구에서는 보다 효율적으로 해를 탐색하기 위해 유전알고리즘(Genetic Algorithm : GA)을 제시한다. 유전알고리즘은 생물의 진화과정인 적자생존의 원칙을 활용해 해를 탐색해가는 메타 휴리스틱 기법의 하나로 Holland(1975)에 의해 처음 소개된 후로 다양한 문제에 적용되어 왔고, 특히 본 연구에서 다루는 문제와 같은 조합(Combinatorial) 문제에 대해 비교적 짧은 시간 내에 근사 최적해를 도출하는 것으로 알려져 있다(Gen and Cheng(2000)). 보편적인 탐색기법들과는 달리 GA는 염색체(Chromosome)라 불리는 해들로 이루어진 해집단(Population)을 하나의 세대(Generation)로 하고, 적합도(Fitness)라는 평가척도를 이용하여 진화된 다음 세대를 반복 형성함으로써 해를 탐색하게 된다.

3.1 염색체(Chromosome) 표현

할당과 순서를 동시에 결정하는 문제들에 일반적으로 적용되는 GA의 염색체 표현 방법은 할당을 위한 특수문자(Special Character)를 이용하는 것이다. 트럭의 입고 일정계획을 위한 염색체로 하차도어를 구분하는 $I-1$ 개의 특수문자*와 트럭의 하역순서를 나타내는 1부터 R 까지의 정수를 이용한 $(R+I-1)$ 개의 유전자를 갖는 단일 스트링(Single String) 배열을 사용한다. 마찬가지로, 트럭의 출고 일정계획을 위한 염색체로는 상차도어를 구분하는 $O-1$ 개의 특수문자*와 트럭의 선적순서를 나타내는 1부터 R 까지의 정수를 이용한 $(R+O-1)$ 개의 유전자를 갖는 단일 스트링(Single String) 배열을 사용한다. 연속되는 특수문자*사이의 숫자들은 동일도어 내에 하차 및 상차 트럭들의 순서이다. 이와 같은 염색체 표현 방법을 이용하게 되면 도어들의 트럭할당 및 각 도어내의 할당된 트럭들의 작업순서는 염색체 표현 자체로 동시에 결정된다.

본 연구에서는 특수문자를 이용한 염색체 표현뿐만 아니라, 특수문자 없이 효율적인 도어 할당규칙(Dispatching Rule)을 이용한 염색체 표현 방법을 새로이 제시한다. 트럭의 입고 및 출고 일정계획을 위한 도어 할당규칙을 이용한 염색체 표현 방법은 단순히 도어 할당을 수행하는 순서를 나타내는 1부터

R 까지의 정수를 이용한 R 개의 유전자를 갖는 두 개의 단일 스트링(Single String) 배열을 사용한다. 임의의 염색체에서 트럭의 도어 할당규칙은 각 트럭의 염색체상의 순서에 따라 작업을 가장 먼저 시작할 수 있는 도어에 해당 트럭을 할당하는 것이다.

<Figure 3>에 2개의 하차도어와 2개의 상차도어를 갖는 크로스 도킹 터미널에서 입고와 출고를 병행하는 5대 트럭이 있는 경우 두 가지 염색체 표현 방법들에 대한 입고 및 출고 일정 계획을 예시하였다. 그림의 상단부에는 트럭의 입고 및 출고 일정계획을 위한 특수문자를 이용한 염색체와 도어 할당규칙을 이용한 염색체 표현을 각각 나타내고 있다.

특수문자를 이용한 입고트럭 염색체에서는 *을 기준으로 좌측 유전자(gene)인 트럭 2와 1은 하차도어 1에 차례로 할당되고, 하차도어 2에는 우측 유전자인 트럭 5, 4, 그리고 3이 차례로 할당되게 된다. 마찬가지로 출고트럭 염색체에서는 좌측 유전자인 트럭 5, 1, 4가 상차도어 1에, 우측 유전자인 트럭 2와 4가 상차도어 2에 차례로 할당되게 된다. 반면, 도어 할당규칙을 이용한 입고트럭 염색체에 의한 트럭의 일정은 하역 시작 시간 기준으로 2, 5, 4, 1, 3의 순으로 하역작업을 가장 먼저 시작할 수 있는 하차도어로 순차적으로 할당된다. 따라서, 하차도어 1에는 트럭 2와 1이 차례로 할당되고, 하차도어 2에는 트럭 5, 트럭 4, 그리고 트럭 3이 차례로 할당되게 된다. 출고트럭 염색체에 의한 트럭의 일정은 선적 시작 시간 기준으로 5, 2, 1, 4, 3의 순으로 선적작업을 가장 먼저 시작할 수 있는 상차도어

로 순차적으로 할당된다. 따라서, 상차도어 1에는 트럭 5, 트럭 1, 그리고 트럭 3이 차례로 할당되고 상차도어 2에는 트럭 2와 트럭 4가 차례로 할당되게 된다.

본 연구에서는 특수문자를 이용한 염색체 표현 방법에 따른 유전알고리즘을 Genetic Algorithm with Special Character(GA_SC)라고 하고, 새로 제시한 도어 할당규칙을 이용한 염색체 표현 방법에 따른 유전알고리즘을 GA with Dispatching Rule(GA_DR)이라고 하며 두 가지 유전알고리즘의 성능을 평가하고자 한다. GA_SC와 GA_DR 모두 초기 세대의 해집단으로 정해진 동일한 수만큼 모두 임의생성(Random generation)한다.

3.2 적합도(Fitness)

유전알고리즘의 가장 효과적인 부분 중 하나는 목적함수의 유연성에 있다. 바꾸어 말하면, 목적함수가 선형이든 비선형이든 간에 문제해결에 복잡성을 갖지 않는다. 본 연구에서 다루는 문제는 최소화 문제이므로 각 염색체의 목적함수 값, 즉 총 터미널 운영시간이 낮은 값이 적합도가 우수하다. 염색체 i 의 적합도함수 값 F_i 는 식 (20)과 같이 해집단 내의 염색체 i 의 총 터미널 운영시간 T_i 와 해 집단 내의 최대 총 터미널 운영시간 T_{max} 를 이용한다. F_i 값 높은 염색체가 우수한 적합도를 가진다.

$$F_i = T_{max} - T_i \tag{20}$$

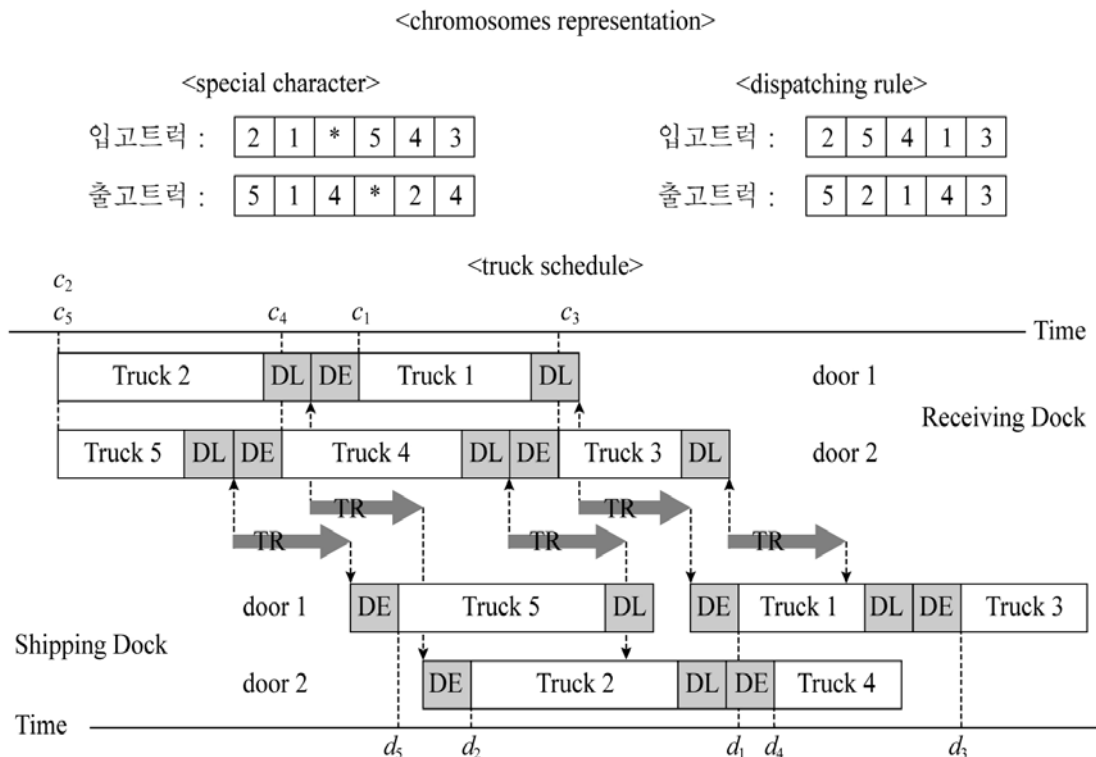


Figure 3. The representations of chromosomes and corresponding truck schedule

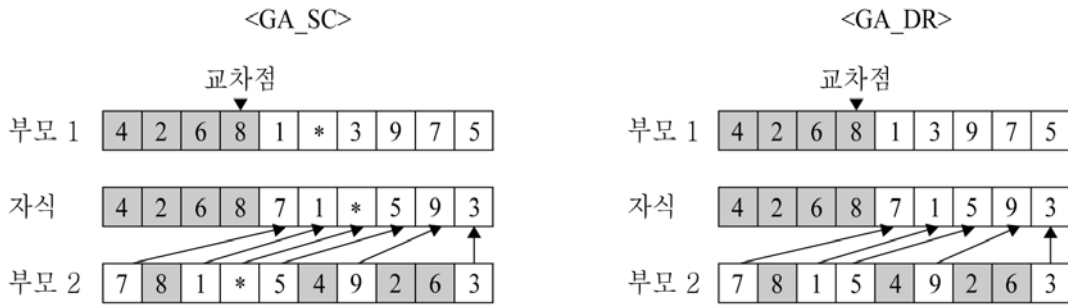


Figure 4. One-cut point crossover

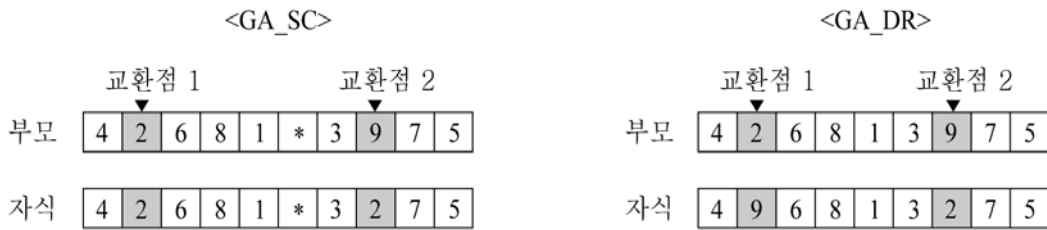


Figure 5. Swap-mutation

3.3 유전 연산(Genetic operations)

일반적으로 GA에서는 세 가지 유전 연산방법들, 즉 교차변이(Crossover)연산, 돌연변이(Mutation)연산, 그리고 재생산(Reproduction)을 이용하여 진화된 자식세대(Generation)을 형성하게 된다. 동일한 환경에서 GA_SC와 GA_DR의 성능을 비교하기 위해 동일 유전 연산방법들을 사용하였으며, <Figure 4>와 <Figure 5>에 본 연구에 사용된 두 가지 염색체 표현에 대한 교차변이연산과 돌연변이연산을 예시하였다. 입고 및 출고 트럭의 일정에 대한 염색체 표현이 동일한 형태를 가지므로 한 가지 일정에 대한 두 가지 염색체 표현들의 교차변이연산과 돌연변이연산을 묘사하였다. 교차변이연산으로 하나의 교차점을 임의로 선택하고 <Figure 4>와 같이 두 부모의 유전자를 교차하여 자식을 생성하는 한점교차(One cut-point crossover)방법을 사용하였다. 한점 교차방법은 순서결정 문제 및 일정계획 문제의 염색체 표현에서 가장 보편적으로 이용되는 방법으로 실행불가능(Infeasible)해를 발생시키지 않고 다양한 해를 탐색할 수 있게 한다. 돌연변이연산으로는 <Figure 5>와 같이 부모의 유전자에서 임의로 선택된 두 점을 상호 교환하여 자식을 생성하는 교환 돌연변이(Swap-mutation)방법을 사용하였다.

다음 세대를 구성하기 위한 염색체 생성을 위한 부모 해는 현 세대 해집단의 적합도 평균보다 좋은(높은) 적합도를 갖는 해들에서 선택한다. 자식 해는 기본적으로 선정된 부모 해들을 임의로 짝을 지어 교차변이 또는 돌연변이 연산으로 생성하나, 가장 우수한 해가 일정비율 이상 부모가 되도록 조정하였다.

4. 알고리즘 검증

본 연구에서 제시한 GA_SC와 GA_DR의 성능을 검증하기 위하여 임의의 데이터를 생성하여 실험 하였다. 우선 최적해와의 비교를 위하여 제한된 시간(7,200초) 이내에 최적해를 구할 수 있는 규모로 제한된 실험데이터를 생성하였다. 최적해는 제 2장에서 제시한 혼합정수계획 모형을 ILOG CPLEX 10.2를 사용하여 구하였다. 6개 이하의 트럭수 R , 7개 이하의 화물종류수 N , 그리고 2개 이하의 하차 및 상차 도어수 I 와 O 를 갖는 24개 실험 데이터를 랜덤하게 생성하고, 트럭의 도어 진출입 시간 DE 와 DL 을 35와 45로, 화물 이동 및 분류시간 V 를 100으로, 하차도크에서 상차도크로의 트럭 이동시간 TR 을 50으로 가정하였다. GA는 해집단의 수를 $2R$ 로, 총 세대수를 1,000으로 하였고, 교차변이율과 돌연변이율은 여러 가지 조합의 예비 실험결과에서 가장 좋은 성능을 보였던 0.7과 0.3으로 수행하였다.

<Table 1>에 규모가 제한된 문제에 대한 실험결과를 정리하였다. 각 실험데이터에 대해 CPLEX에 의한 최적해와 GA_SC와 GA_DR를 각각 10회씩 실행하여 그 해와 탐색시간의 평균을 계산하여 정리하였다. 제시된 알고리즘들의 성능을 평가하기 위한 척도로 해의 상대비율편차(Relative Percentage Deviation : RPD)를 이용하였다. RPD 는 최적해에 대한 알고리즘에 의한 해의 편차의 비를 의미하며 식 (21)로 표현된다. RPD 가 $\alpha\%$ 란 것은 알고리즘에 의한 해가 최적해에 비해 $\alpha\%$ 초과한다는 것이므로, RPD 의 값이 적을수록 알고리즘의 효과(Effectiveness)가 좋다는 것을 의미한다.

$$RPD = \frac{\text{알고리즘해-최적해}}{\text{최적해}} \times 100 \quad (21)$$

<Table 1>의 실험 결과를 보면 GA_SC와 GA_DR의 RPD 평균이 1.33%와 0.68%로 아주 작아 규모가 제한된 문제에 대해 그

성능이 대단히 우수함을 알 수 있다. CPLEX의 최적해 탐색시간은 트럭 수가 늘어남에 따라 급속하게 늘어남을 알 수 있다. 실험에 의하면 트럭 수가 7개 이상이면 대부분의 경우에 제한된 시간(7200초) 이내에 최적해를 구할 수 없었다. 반면에 GA_SC와 GA_DR은 실험데이터 모두 1초 이내에 해를 탐색 할 수 있었다.

Table 1. Performance comparison of small sized problems

실험데이터					CPLEX		GA_SC			GA_DR		
번호	트럭수	화물 종류수	입고 도어수	출고 도어수	최적해	Time (Sec.)	평균	RPD (%)	Time (Sec.)	평균	RPD (%)	Time (Sec.)
1	4	3	1	1	851	3.360	851	0.000	0.045	851	0.000	0.043
2	4	3	1	2	717	2.937	717.9	0.126	0.044	717.6	0.084	0.041
3	4	4	1	2	592	2.750	594.9	0.490	0.053	592	0.000	0.050
4	4	4	2	2	436	2.594	438	0.459	0.058	436.2	0.046	0.051
5	4	5	2	1	776	2.297	776	0.000	0.056	776	0.000	0.051
6	4	5	2	2	553	2.516	553	0.000	0.058	553	0.000	0.051
7	4	7	1	1	852	2.344	852	0.000	0.082	852	0.000	0.080
8	4	7	2	1	611	2.421	611	0.000	0.087	611	0.000	0.083
9	5	4	1	2	679	3.422	679.8	0.118	0.059	679	0.000	0.054
10	5	4	2	2	434	3.532	442.7	2.005	0.064	434.8	0.184	0.054
11	5	5	1	1	754	4.890	795.6	5.517	0.089	785.2	4.138	0.085
12	5	5	2	1	648	4.438	648.8	0.123	0.097	648	0.000	0.087
13	5	6	1	1	933	5.203	947.3	1.533	0.091	945.3	1.318	0.087
14	5	6	2	2	528	5.531	536.5	1.610	0.101	530.6	0.492	0.088
15	5	7	1	2	810	3.469	816.2	0.765	0.110	819.3	1.148	0.103
16	5	7	2	1	804	3.672	823.6	2.438	0.118	814.9	1.356	0.106
17	6	3	2	1	1095	41.797	1097.5	0.228	0.120	1095	0.000	0.106
18	6	3	2	2	711	298.062	745.2	4.810	0.123	739.2	3.966	0.104
19	6	5	1	2	1016	75.703	1021.1	0.502	0.151	1016	0.000	0.143
20	6	5	2	1	984	17.079	993.2	0.935	0.161	990.9	0.701	0.143
21	6	6	1	1	1175	176.281	1194.4	1.651	0.162	1184.6	0.817	0.155
22	6	6	1	2	949	78.875	982.3	3.509	0.166	953.5	0.474	0.157
23	6	7	1	1	1194	178.703	1223.8	2.496	0.161	1204.1	0.846	0.155
24	6	7	2	2	643	126.016	659.2	2.519	0.184	647.5	0.700	0.159
평균						43.662		1.326	0.102		0.678	0.093

Table 2. Performance comparison of large sized problems

번호	실험데이터				Best	GA_SC			GA_DR		
	트럭수	화물 종류수	입고 도어수	출고 도어수		평균	<i>RPD_Best</i> (%)	Time (Sec.)	평균	<i>RPD_Best</i> (%)	Time (Sec.)
1	20	5	2	4	1333	1366	2.476	6.088	1353.9	1.568	5.600
2	20	5	4	6	717	805.1	12.287	6.324	737.2	2.817	5.675
3	20	10	6	4	854	945.8	10.749	8.860	880.6	3.115	7.982
4	20	10	4	2	1576	1644	4.315	8.698	1613.9	2.405	7.948
5	20	15	5	5	733	825.5	12.619	9.862	750	2.319	8.964
6	20	15	4	2	1444	1497.5	3.705	9.821	1460.2	1.122	8.961
7	20	20	6	6	822	956.8	16.399	17.590	857.4	4.307	16.384
8	20	20	2	4	1825	1934.6	6.005	17.258	1889.5	3.534	16.449
9	30	5	5	5	1061	1208.5	13.902	16.177	1080.1	1.800	14.258
10	30	5	6	8	848	960.8	13.302	16.303	865.3	2.040	14.386
11	30	10	3	3	1338	1447.1	8.154	30.158	1358.3	1.517	28.108
12	30	10	7	7	620	750.7	21.081	30.772	623.3	0.532	28.279
13	30	15	4	4	1400	1586.9	13.350	48.891	1439.9	2.850	45.920
14	30	15	8	6	878	1011.9	15.251	49.178	901.1	2.631	46.093
15	30	20	6	6	796	958.9	20.465	44.200	832.1	4.535	41.094
16	30	20	3	3	1543	1651.3	7.019	43.629	1584.2	2.670	40.981
17	40	5	6	8	1138	1342.2	17.944	52.321	1150	1.054	47.865
18	40	5	8	10	883	1106.4	25.300	52.656	904.9	2.480	47.870
19	40	10	4	6	1537	1724.6	12.206	109.794	1556.8	1.288	104.094
20	40	10	8	6	1067	1257	17.807	111.027	1087	1.874	104.511
21	40	15	8	10	967	1149.2	18.842	141.609	1002.3	3.650	134.963
22	40	15	7	7	1171	1395.8	19.197	141.349	1198.2	2.323	133.984
23	40	20	10	10	849	1015.8	19.647	161.253	863.7	1.731	153.328
24	40	20	4	4	1952	2104.1	7.792	159.713	1986.4	1.762	152.427
25	50	5	8	8	1004	1227.8	22.291	148.974	1018.1	1.404	139.630
26	50	5	9	9	913	1112.7	21.873	149.875	920	0.767	140.077
27	50	10	6	4	2250	2435.4	8.240	282.739	2300.5	2.244	268.064
28	50	10	9	9	1183	1460.3	23.440	280.368	1208.9	2.189	267.850
29	50	15	10	8	1375	1704.5	23.964	342.853	1375	0.000	333.725
30	50	15	8	8	1525	1828.9	19.928	342.656	1547.5	1.475	333.973
31	50	20	10	10	949	1178.6	24.194	320.548	967.1	1.907	305.419
32	50	20	10	8	1069	1286.5	20.346	319.392	1088	1.777	305.936
평균							15.128	108.779		2.115	103.462

더 큰 규모의 크로스도킹 터미널의 트럭 입고 및 출고 일정 계획 문제에 대해 GA_SC와 GA_DR의 성능을 평가하기 위하여 트럭수를 20, 30, 40과 50으로 화물종류수를 5, 10, 15와 20으로 고정하고, 10개 이내의 하차 및 상차 도어수를 생성하여 32개의 실험 데이터를 임의로 생성하였다. 트럭의 도어 진출 입시간, 화물 이동 및 분류시간, 그리고 하차도크에서 상차도크로의 트럭 이동시간은 첫 번째 실험과 동일한 값을 가정하였다. GA_SC와 GA_DR은 첫 번째 실험과 동일하게 해집단의 수를 2R로, 총 세대수를 1,000으로 하였고, 교차변이율과 돌연변이율은 각각 0.7과 0.3으로 수행하여 그 결과들을 <Table 2>에 정리하였다. 생성된 큰 규모의 실험 데이터들은 합리적인 시간 내에 정수계획법에 의한 최적해를 찾는 것이 불가능하므로, 최적해를 대신하여 알고리즘들의 성능을 비교하기 위한 기준점(Baseline)으로 본 연구에서는 GA_SC와 GA_DR의 각각의 10개 반복실험의 결과들 중 가장 좋은(Best)해를 이용하였다. 즉, GA_SC와 GA_DR의 성능을 평가하기 위한 척도로 RPD 대신, Best값 대비 해의 상대비율편차(Relative Percentage Deviation with the best solution : RPD_{Best})를 이용하였다. RPD_{Best} 는 Best 값에 대한 알고리즘에 의한 해의 편차의 비를 의미하며 식 (22)으로 표현된다.

$$RPD_{Best} = \frac{\text{알고리즘해}-\text{Best}}{\text{Best}} \times 100 \quad (22)$$

<Table 2>의 실험 결과를 보면 GA_DR의 RPD_{Best} 전체 평균이 2.12%으로 GA_SC의 15.13%보다 상대적으로 매우 적다. 이는 특수문자를 이용한 염색체 표현을 이용하는 것에 비해, 본 연구에서 제시한 도어 할당 규칙을 이용하는 것이 다수의 도어를 갖는 크로스도킹 터미널에서 입고와 출고를 병행하는 트럭 일정계획 문제에 대한 GA의 성능을 훨씬 향상 시킨다는 사실을 알 수 있다. 해의 탐색시간은 트럭수가 많아질수록 증가폭이 커지나 모든 실험에 대해 GA_SC와 GA_DR 모두 수분 이내일 정도로 적어 실제문제에 적용 시 효율적인 일정계획의 수립이 가능할 것이다. GA_SC 대비 GA_DR의 우수성을 검증하기 위하여 95% 신뢰구간의 평균과 Tukey HSD intervals로 두 알고리즘의 RPD_{Best} 를 <Figure 6>에서와 같이 도식하였다. <Figure 6>에서 보는바와 같이 Tukey HSD intervals가 겹치는 부분이 없으므로 두 알고리즘의 RPD_{Best} 간에는 통계적으로 유의한 차이가 있음을 알 수 있다.

<Figure 7>은 트럭수의 변화에 따른 두 알고리즘의 RPD_{Best} 에 대한 95% 신뢰구간의 평균과 Tukey HSD intervals를 나타내고, <Figure 8>은 상하차 도어수의 변화에 따른 결과를 나타내고 있다. <Figure 7>과 <Figure 8>에서 보는바와 같이 트럭수가 많아질수록 또는 상하차 도어의 수가 많아질수록 두 알고리즘의 RPD_{Best} 간에는 통계적으로 더 큰 차이가 발생할 수 있다. 이는 도어 할당 규칙을 이용한 하는 것이 트럭수 및 상하차 도어의 수가 많아질수록 더 많은 효과를 볼 수 있음을 의미한다.

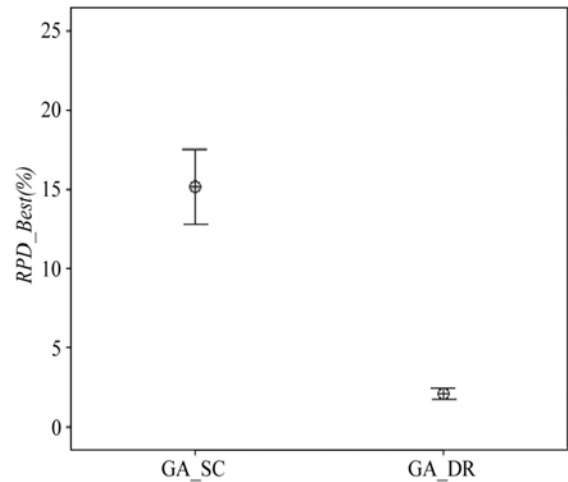


Figure 6. Mean plots and Tukey HSD intervals at the 95% confidence level of GA_SC and GA_DR

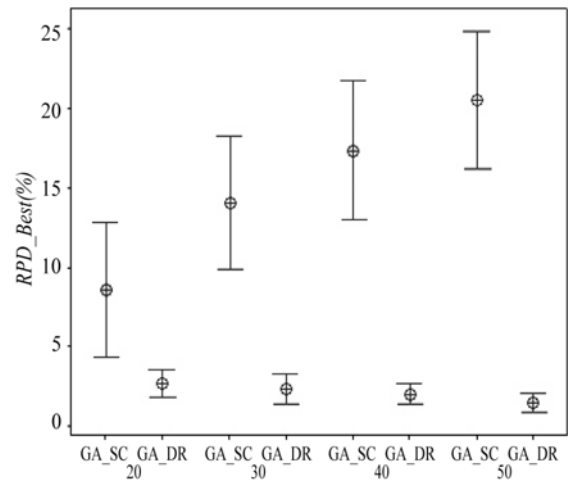


Figure 7. Mean plots and Tukey HSD intervals at the 95% confidence level for truck groups

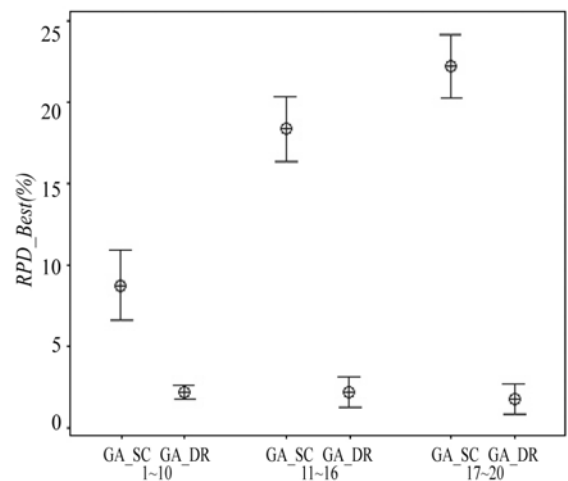


Figure 8. Mean plots and Tukey HSD intervals at the 95% confidence level for door groups

6. 결 론

본 연구에서는 m 개의 하차도어와 n 개의 상차도어가 서로 분리되어 있는 가장 일반적인 크로스도킹 터미널 환경 하에서 입고 및 출고작업을 병행하는 트럭들의 도어 할당 및 하역 및 선적 순서결정 문제를 다루었다. 문제의 해결을 위해 크로스도킹 터미널의 총 터미널 운영시간을 최소화의 목적을 갖는 비선형 혼합정수계획모형을 제시하였고, 효율적인 해를 도출하기 위해 유전알고리즘을 제시하였다. 제시된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 우선, 작은 규모의 문제들에 대해 본 연구에서 제시한 정수계획법에 의한 최적해와 두 가지 유전자 표현에 의한 GA_SC와 GA_DR의 해들의 성능을 비교하였다. 실험의 결과는 본 연구에서 제시한 GA_DR 해가 일반적인 유전자표현방식을 이용하는 GA_SC보다 우수성 있어서 탁월함을 확인할 수 있었다. 규모가 큰 문제에 대한 실험에서는 GA_SC와 GA_DR의 성능을 평가하기 위한 기준으로 반복실험 결과들 중 Best 해와의 비교를 제시하였고, 그 결과 GA_DR는 *RPD_Best* 전체 평균이 2.12%으로 GA_SC의 15.13%보다 현저히 작은 우수한 해를 도출함을 알 수 있었다. 또한, GA_DR은 규모가 큰 현실적인 문제에 대한 실험에서 최적해에 근사한 해를 수분 이내에 탐색하는 탁월한 효율성을 입증하였다.

향후, 물류비 감소와 고객 서비스 수준 증대를 동시에 이룰 수 있는 혁신적인 물류개념인 크로스도킹 터미널의 효율적인 관리를 위하여 다양한 형태의 연구가 지속되어야 하며, 다양한 목적함수에 관한 연구 및 다수의 입고 및 출고도어를 가지는 크로스도킹 터미널에서 다양한 트럭흐름이 혼재된 상황 하의 입고 및 출고 트럭의 일정계획문제를 해결하는 추가 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

Apte, U. M. and Viswanathan, S. (2000), Effective cross docking for improving distribution efficiencies, *International Journal of Logistics*, **3**, 291-302.
 Bartholdi III., J. J., and Gue, K. R. (2004), The best shape for a crossdock, *Transportation Sciences*, **38**(2), 235-244.

Boysen, N., Fliedner, M., and Scholl, A. (2010), Scheduling inbound and outbound trucks at cross docking terminals, *OR Spectrum*, **32**, 135-161.
 Forger G. (1995), UPS starts world's premiere cross-docking operation, *Modern Material Handling*, 36-38.
 Gen, M. and Cheng, R. (2000), Genetic Algorithms and Engineering Optimization, *New York : Wiley*.
 Holland, J. H. (1975), Adaptation in natural and artificial systems, *Ann Arbor, IL : University of Michigan Press*.
 Joo, C. M. and Kim, B. S. (2011), Scheduling for Trucks with Inbound Storage Process and Outbound Shipping Process in Cross Docking Terminals, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, **11**(1), 15-24.
 Ko, C. S., Choi, E. J., and Lee, H. K. (2006), A Dock Door Assignment problem in Automated Cross-docking Terminal, *Korea Logistics Society*, **14**(2), 21-34.
 Lee, Y. H., Jung, H., J. W., and Lee, K. M. (2006), Vehicle routing scheduling for cross-docking in the supply chain, *Computers and Industrial Engineering*, **51**, 247-256.
 Ley and Elfayoumy (2007), Cross dock scheduling using genetic algorithms, *Proceedings of the 2007 IEEE international Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation*, 416-420.
 Lim, Y., Lim, A., and Rodrigues, B. (2004), JIT scheduling with time windows, *Journal of the Operational Research Society*, **55**, 1342-1351.
 Miao, Z., Lim, A., and Ma, H. (2009), Truck dock assignment with operational time constant within crossdocks. *European Journal of Operational Research*, 192, 105-115.
 Oh, Y., Hwang, H., Cha, C. N., and Lee, S. (2006), A dock door assignment problem for the Korean mail distribution center, *Computers and Industrial Engineering*, **51**, 588-596.
 Stalk, G., Evans, P., and Shulman, L. E. (1992), Competing on capabilities : the new role of corporate strategy, *Harvard Business Review*, **70**(2), 57-69.
 Sung, C. S. and Song, S. H. (2003), Integrated service network design for a cross-docking supply chain network, *The Journal of Operational Research Society*, **54**(12), 1283-1295.
 Yu, W. and Egbelu, P. J. (2008), Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking system with temporary storage, *European Journal of Operational Research*, **184**, 377-396.
 Vahdani, B. and Zandieh, M. (2010), Scheduling trucks in cross docking systems : Robust meta-heuristics, *Computers and Industrial Engineering*, **58**, 12-24.
 Witt, C. E. (1998), Cross docking : Concepts demand choice, *Modern Material Handling*, **53**(7), 44-49.