

# 작업시간창이 주어진 크로스토킹 터미널에서 미 선적 물량 최소화를 위한 입출고 트럭 일정계획

주철민<sup>1</sup> · 김병수<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>동서대학교 산업경영공학과 / <sup>2</sup>부경대학교 기술경영(MOT) 일반대학원

## Inbound and Outbound Truck Scheduling to Minimize the Number of Items Unable to Ship in Cross Docking Terminals with a Time Window

Cheol Min Joo<sup>1</sup> · Byung Soo Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Industrial and Management Engineering, Dongseo University, Busan, 617-716, Korea

<sup>2</sup>Graduate School of Management of Technology, Pukyong National University, Busan, 608-739, Korea

This paper considers the inbound and outbound truck scheduling problem in a cross docking terminal. The unloading process from inbound trucks and loading process to outbound trucks are assumed to be performed within a time window. If some items are not able to be loaded to their scheduled outbound trucks within the time window, they are stored in the terminal and shipped using the truck visiting the next time window. The objective of this paper is to schedule inbound and outbound trucks to minimize the number of items unable to ship within the time window. A mathematical model for an optimal solution is derived, and a rule-based local search heuristic algorithm and genetic algorithm (GA) are proposed. The performance of the algorithms are evaluated using randomly generated several examples.

**Keywords:** Cross Docking Terminal, Truck Scheduling, Time Window, Genetic Algorithm

### 1. 서론

물류공급망에서 물류센터는 전통적으로 대량의 물품을 효율적으로 운송하기 위해 제품을 보관하고 필요시 반출시키는 창고의 기능을 주로 담당하였다. 그러나 전자상거래, TV홈쇼핑, 통신판매등의 활성화와 같은 상거래 환경의 변화와 고객 소화물의 Door-to-Door 서비스 요청의 급증으로 인해 새로운 개념의 물류센터 운영방식이 필요하게 되었다. 이러한 요구에 부합하여 물류비 감소와 고객 서비스 수준 증대를 동시에 이룰 수 있는 혁신적인 물류개념이 크로스도킹(Cross Docking) 터미널이다(Apte and Viswanathan, 2000). 크로스도킹 터미널은 입

고트럭으로부터 물류센터에 반입된 화물을 창고에 보관하는 것이 아니라 중간 저장단계가 거의 없거나 전혀 없이 출고 트럭별로 즉시 분류하여 배송함으로써 물류비용을 감소시키고 물류생산성을 획기적으로 증가시킬 수 있다. 우체국에서 신속한 배달을 위해 시작된 크로스도킹은 택배회사의 화물터미널 운영의 기본이 되었으며, 또한 많은 전통적인 물류센터들이 효율적 재고 관리와 고객 수요에 대한 즉각적 대응을 위해 크로스도킹 물류센터로 전환하고 있는 실정이다.

크로스도킹 터미널의 효율적인 운영관리를 위해서는 각 공급처로부터 크로스도킹 터미널로의 인바운드(Inbound) 운송 문제의 최적 운영전략과 크로스도킹 터미널로부터 고객으로

\* 연락저자 : 김병수 교수, 608-739 부산광역시 남구 용당동 부경대학교 기술경영(MOT) 일반대학원, Tel : 051-629-6491, Fax : 051-629-6496,  
E-mail : iekbs@pknu.ac.kr

2011년 9월 10일 접수; 2011년 10월 12일 수정본 접수; 2011년 11월 14일 게재 확정.

의 아웃바운드(Outbound) 배송 문제의 최적 운영전략의 수립이 필수적이다. 크로스 도킹 터미널의 특성상 인바운드 운송 전략과 아웃바운드 배송전략이 서로 맞물려 있어 두 가지의 사결정이 동시에 수행되어야 한다. 작업시간창(Time Window)이 주어진 상황 하에서 인바운드 운송 전략과 아웃바운드 배송전략은 결국 입고트럭과 출고트럭의 상하차 순서를 동시에 결정하는 일정계획 문제가 되며 이는 크로스도킹 터미널의 효율적 운영에 가장 중요한 요소이다.

크로스도킹에 대하여 다양한 연구가 이루어지고 있으나, 입고 및 출고 트럭의 일정계획문제에 대한 연구는 매우 제한적으로 이루어 졌다. McWilliams *et al.*(2005)은 컨베이어 시스템에 의해 내부물류가 이동되는 실제 우편 서비스 크로스도킹 시스템에서의 내부물류의 혼재(Consolidation)시간을 최소화하는 입고트럭의 일정계획문제를 다루었다. Yu and Egbelu(2008)는 임시저장소(Temporary Storage)가 있는 단일 입·출고 도어 하의 크로스도킹 터미널의 총 처리시간(Makespan)을 최소화하기 위한 입고트럭 및 출고트럭의 작업 순서를 결정하기 위해 수리모형을 수립하고, 휴리스틱 알고리즘을 제시하였다. Joo(2008), Vahdani and Zandieh(2010)와 Soltani and Sadjadi(2010)는 Yu and Egbelu(2008)의 연구와 동일상황에서의 메타휴리스틱을 이용하여 문제를 해결하였다. Boyzen *et al.*(2010)은 단일 입·출고 도어 하에서의 크로스도킹 터미널의 총 처리시간(Makespan)을 최소화하기 위한 입고트럭 및 출고트럭의 작업 순서를 결정하는 문제를 다루었는데 전체문제를 입고문제와 출고문제로 분할(Decompose)하여 문제를 해결하였다. 또한, Boysen(2010)은 냉동물류를 취급하는 실제 크로스도킹 시스템에 대한 차량일정계획을 연구하였다. Joo and Kim(2011)은 다수의 도어를 갖는 크로스도킹 터미널에서 입고와 출고를 병행하는 트럭일정계획 문제를 제시하고, 이를 해결하기 위한 유전알고리즘을 제시하였다. Li *et al.*(2004)와 Chen and Lee(2009)는 크로스도킹 일정계획문제를 전통적인 기계일정계획모델과 연관시켜 문제를 해결하였다. Lim and Rodrigues(2004)는 제한된 시간창(Time Window)내에 물품들이 크로스도킹 터미널 내부에 저장되고 픽킹되는 시간을 최소화하는 방법으로 JIT(Just In Time) 일정계획을 연구를 하였다. 문제의 해결을 위해서 그들은 문제를 두 단계의 병렬기계 일정계획문제로 간주하고 입고 차량 및 출고차량들의 Earliness와 Tardiness를 최소화하는 목적식으로 전환하여 문제를 해결하였다.

일반적으로 크로스 도킹 터미널의 운영은 작업 인력 및 출고트럭의 이후 일정 등으로 인해 하역 및 선적 작업을 할 수 있는 시간에(작업창) 제약이 주어진다. 주어진 작업시간 제약하에서 적시 배송을 위해서는 대다수의 기존 연구들의 목적인 총 작업완료시간의 최소화 보다는 총 미 선적 물량을 최소화하는 것이 크로스도킹 터미널의 운영에 보다 효율적이다. 따라서, 본 연구에서는 하차도크와 상차도크가 서로 분리되어 있는 크로스도킹 터미널에서 주어진 작업시간창내에 처리하지 못하는 총 미 선적 물량을 최소화하기 위한 입고 및 출고트

럭의 상하차 순서를 동시에 결정하는 일정계획문제를 다룬다. 하차도크에 하역된 화물은 해당 출고트럭이 상차도크에 있는지 여부에 따라 바로 상차도크로 이동하거나 임시 보관소로 이동한다. 임시 보관소에 저장된 화물은 언제든지 선적될 수 있다. 화물의 하역 및 선적은 화물 종류에 관계없이 기본단위 별로 작업된다고 가정하며, 작업시간창은 크로스도킹 터미널의 상하차 작업을 수행하는 단위 계획기간으로 정의한다. 주어진 작업시간창내에 처리하지 못하는 선적물량은 다음 작업시간창까지 저장하게 된다. 크로스도킹 터미널의 운영효율을 극대화하기 위해서는 주어진 작업시간창 내에서 최대의 물량을 처리할수 있는 입출고 트럭의 일정계획이 중요하다. 작업시간창이 존재하고 매일 반복되는 입·출고 트럭의 상하차 작업을 수행하는 물류센터운영은 미국의 많은 온라인 도매상(On-line Retailer)들의 일반적인 방식이다. 따라서 제한된 작업시간창 내에서 작업해야 할 입출고 차량들의 최적 일정계획은 효율적인 크로스도킹 터미널 운영에 중요한 의사결정요인이 되고 있다(Gallien and Weber, 2010). 본 연구의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 크로스도킹 터미널에서 총 미 선적 물량을 최소화하기 위한 수리모형을 수립하고, 제 3장에서 이를 효율적으로 해결하기 위해 LPT\_SPT(Largest Processing Time\_Smallest Processing Time)에 근거한 휴리스틱 알고리즘과 유전알고리즘(Genetic Algorithm : GA)을 제시한다. 제시된 알고리즘은 제 4장에서 랜덤하게 생성된 다양한 실험문제들을 통해 그 성능을 평가한다.

## 2. 최적화 모형

본 장에서는 주어진 작업시간창 내에 처리하지 못하는 총 미 선적 물량을 최소화하는 크로스도킹 터미널의 입출고 트럭 일정계획문제에 관한 최적화 모형을 제시한다. 총 미 선적 물량은 작업시간창보다 선적완료 시점이 늦어지는 출고트럭들의 총 화물수를 의미한다.

### 2.1 파라미터

최적화 모형을 위한 파라미터들은 다음과 같이 정의 된다.

$R$  : 입고 트럭수

$S$  : 출고 트럭수

$N$  : 화물 종류 수

$r_{ik}$  : 입고트럭  $i$ 가 하역할 화물 종류  $k$ 의 수량

$s_{jk}$  : 출고트럭  $j$ 가 선적할 화물 종류  $k$ 의 수량

$D$  : 입고트럭 및 출고트럭의 교체시간

$V$  : 화물 분류 및 하차도크에서 상차도크로의 이동시간

$M$  : 양의 큰 수(무한대)

$T$  : 터미널의 최대 작업시간(작업시간창[0,  $T$ ])

## 2.2 변수

최적화 모형에 사용되는 변수는 다음과 같이 정의 된다. 여기서  $c_i$ ,  $F_i$ ,  $d_j$ ,  $L_i$ 는 연속형 변수,  $x_{ijk}$ 는 정수형 변수,  $y_j$ ,  $v_{ij}$ ,  $p_{ij}$ ,  $q_{ij}$ 는 이진 변수로 구분된다.

- $c_i$  : 입고트럭  $i$ 가 하차도크에 도착한 시간  
 $F_i$  : 입고트럭  $i$ 가 하역후 하차도크를 떠나는 시간  
 $d_j$  : 출고트럭  $j$ 가 상차도크에 도착한 시간  
 $L_i$  : 출고트럭  $j$ 가 선적후 상차도크를 떠나는 시간  
 $x_{ijk}$  : 입고트럭  $i$ 에서 하역되어 출고트럭  $j$ 로 선적되는 화물 종류  $k$ 의 수량
- $$y_j = \begin{cases} 1 & \text{출고트럭 } j \text{의 선적완료 시점이 작업시간차를 벗어나면}(L_j > T) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$
- $$v_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{입고트럭 } i \text{에서 출고트럭 } j \text{로 화물이 하나라도 이송되면} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$
- $$p_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{입고트럭 } i \text{의 일정이 입고트럭 } j \text{보다 앞서면} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$
- $$q_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{출고트럭 } i \text{의 일정이 출고트럭 } j \text{보다 앞서면} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

## 2.3 혼합정수계획 모형

정의된 파라미터와 변수를 이용하여 총 미 선적 물량을 최소화하는 입고 및 출고 트럭의 일정계획문제를 정식화하면 다음과 같은 혼합정수계획 모형이 된다.

$$\text{Minimize } \sum_{j=1}^S (y_j \cdot \sum_{k=1}^N s_{jk})$$

$$\text{Subject to } L_j \leq T + M \cdot y_j, \text{ for all } j, \quad (1)$$

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

$$F_i + D \leq c_j + M \cdot (1 - p_{ij}), \quad (3)$$

$$\text{for all } i, j \text{ and where } i \neq j,$$

$$F_j + D \leq c_i + M \cdot p_{ij}, \quad (4)$$

$$\text{for all } i, j \text{ and where } i \neq j,$$

$$L_j \geq d_j + \sum_{k=1}^N s_{jk}, \text{ for all } j, \quad (5)$$

$$L_i + D \leq d_j + M \cdot (1 - q_{ij}), \quad (6)$$

$$\text{for all } i, j \text{ and where } i \neq j,$$

$$L_j + D \leq d_i + M \cdot q_{ij}, \quad (7)$$

$$\text{for all } i, j \text{ and where } i \neq j,$$

$$\sum_{j=1}^S x_{ijk} = r_{ik}, \quad \text{for all } i, k, \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^R x_{ijk} = s_{jk}, \quad \text{for all } j, k, \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^N x_{ijk} \leq M \cdot v_{ij}, \quad \text{for all } i, j, \quad (10)$$

$$F_i + V \leq d_j + M \cdot (1 - v_{ij}), \quad \text{for all } i, j, \quad (11)$$

$$\text{all variables } \geq 0.$$

제약식 (1)은 작업시간차보다 선적완료 시점이 늦어지는 출고트럭들을 분류하기 위한 제약식이다. 목적식에서는 제약식 (1)을 통해 미 선적 대상으로 분류된 트럭들의 총 화물수를 계산하여 이를 최소화 한다. 제약식 (2), 식 (3)과 식 (4)는 입고트럭들 간의 선후일정을 고려하여 각 트럭의 하역시작시점과 하역완료시점을 산출한다. 제약식 (5), 식 (6)과 식 (7)은 출고트럭들 간의 선후일정을 고려하여 각 트럭의 선적시작시점과 선적완료시점을 산출한다. 제약식 (8)과 식 (9)는 각각의 입고트럭에서 하역되어 각각의 출고트럭으로 선적되는 화물종류별 수량은 각 입고트럭에서 하역되는 화물의 종류별 총 수량 및 각 출고트럭으로 선적되어야 할 화물의 종류별 총 수량과 같아야 함을 의미한다. 제약식 (10)은 변수  $x_{ijk}$ 의 값에 따른  $v_{ij}$ 의 값을 산정하며, 이는 제약식 (11)에서 각 출고트럭의 화물에 의한 선적지연을 산정하는데 사용된다.

## 3. 휴리스틱 알고리즘

본 연구에서 제시한 혼합정수계획 모형은 최적해 모형이지만 현실적인 규모의 문제를 제한된 시간 내에 해결하는 것은 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 효율적으로 해를 탐색할 수 있는 LPT\_SPT에 근거한 휴리스틱 알고리즘과 유전알고리즘을 총 미 선적 물량을 최소화하는 크로스도킹 터미널의 입출고 트럭 일정계획문제의 해법으로 제시한다.

### 3.1 LPT\_SPT 알고리즘

만약, 화물의 종류가 한 가지라고 가정하고 입고트럭 일정만 고려한다면 단일기계 작업일정계획문제와 동일하며, 최대 작업시간(Largest Processing Time : LPT)법칙은 입고트럭들의 총 하역완료시간(Makespan)을 최소화 하는 일정을 제공한다. 출고트럭 일정만 고려한다면 이 역시 단일기계 작업일정계획 문제와 동일하며, 최소작업시간(Smallest Processing Time : SPT)법칙은 미처리 출고트럭수를 최소화하게 된다(Baker and Trietsch, 2009). 이에 근거하여, 본 연구에서는 휴리스틱 알고리즘으로 하차도크에서의 입고트럭들은 작업시간이 큰 순으로 나열하여 하차작업을 시행하는 LPT 법칙을 이용하고, 상차도크에서의 출고 트럭들은 작업시간이 작은 순으로 나열하여 상차

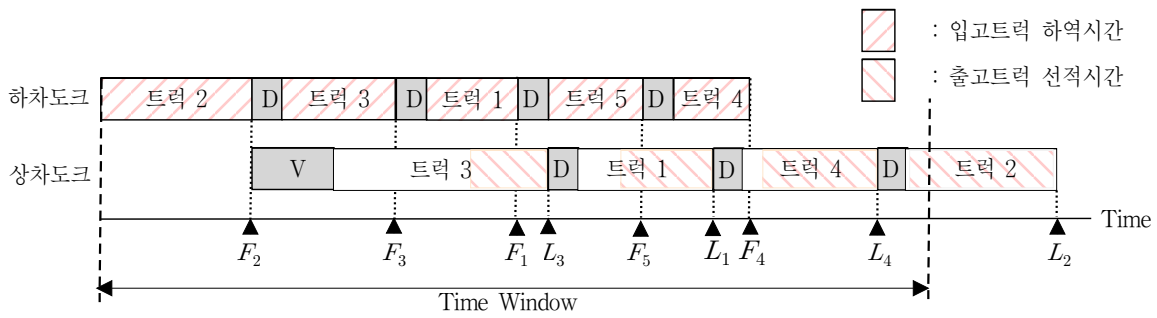


Figure 1. Truck schedule by LPT\_SPT

작업을 시행하는 SPT 법칙을 이용한 LPT\_SPT 방법을 제시한다. 화물 기본단위의 하역 및 선적 시간을 1단위 시간으로 동일하게 주어진다고 가정하였으므로, 각 트럭들의 작업시간은 하역 및 선적 물량에 비례한다. <Figure 1>에 크로스도킹 터미널에서 5대의 입고트럭과 4대의 출고트럭이 있는 경우, LPT\_SPT 알고리즘에 의한 일정계획을 예시하였다. 하차도크에서 입고트럭의 일정은 총 하역물량이 큰 순서로(트럭 2 > 트럭 3 > 트럭 1 > 트럭 5 > 트럭 4) 결정되며, 상차도크에서 출고트럭의 일정은 총 선적물량이 적은 순서로(트럭 3 < 트럭 1 < 트럭 4 < 트럭 2) 결정된다. 결과로 작업시간보다 선적완료 시점이 늦어지는 출고트럭 2의 화물이 미 선적물량이 된다.

3.2 유전알고리즘(Genetic algorithm : GA)

대부분의 현실적인 최적화 문제들은 해공간의 제약식 및 목적함수의 비선형성과 여러 종류의 변수(이진 변수, 정수 변수 및 연속 변수) 및 그 변수의 개수의 증가로 인해 전통적인 탐색 기법으로 단시간에 효율적인 해를 도출하기에는 어려움이 있다. 유전알고리즘(GA)은 생물의 진화과정인 적자생존 및 유전 현상에 기초를 둔 확률적 탐색기법(Stochastic search algorithm)으로 매우 다양한 분야에서 사용되어 오고 있으며, 특히 일정 계획등과 같은 조합 문제(Combinatorial problem)에 대해 단시간에 최적해와 근사한 해를 도출하는 것으로 알려져 있다(Gen and Cheng, 2000).

GA는 염색체(Chromosome)라 불리는 해의 표현을 이용한다. 본 연구에서는 입고 및 출고 트럭의 일정을 표현하기 위해 트럭의 작업순서를 나타내는 정수를 유전자(Gene)로 사용하며, 입고 및 출고 트럭의 일정을 동시에 결정하기 위하여 <Figure 2>와 같이 구분선이 있는 단일스트링(Single String)구조를 사용한다. <Figure 2>의 염색체는 <Figure 1>에서 예시한 일정계획에 대한 해의 표현으로, 구분선 좌측은 입고트럭의 일정을 우측은 출고트럭의 일정을 나타내고 있다.

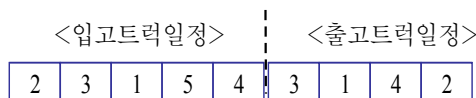


Figure 2. The representations of chromosomes

초기 해집단(Population)은 정해진 수의 염색체를 임의의 생성하여 구성하고, 적합도(Fitness) 평가를 위한 척도로는 혼합 정수계획모형의 목적식인 총 미 선적 물량을 사용한다. 현 세대 해집단의 적합도 평균보다 좋은(낮은) 적합도를 갖는 염색체들로 잠재부모집단(Potential parents pool)을 생성하고, 이들 중 임의의 선택된 부모 염색체들의 유전 연산을 통하여 다음 세대를 형성한다. GA에서 유전 연산으로는 재생산(Reproduction), 교차(Crossover)연산, 그리고 돌연변이(Mutation)연산의 세 가지 방법을 이용한다. 재생산은 적합도가 좋은 염색체를 다음 세대로 복제되는 연산과정이다. 교차연산은 GA에서 해를 개선하는 중요한 과정으로, 보다 나은 해를 찾기 위해 두 부모 세대의 형질을 이용하여 정보를 교환하고 새로운 자식 해를 생성한다. 돌연변이가 역시 해를 개선하는데 있어 교차와 함께 염색체를 개선하는 중요한 역할을 한다. 돌연변이는 부모세대에서 잃어버린 유전형질을 복구하여 유전자의 다양성을 유지하고 탐색범위를 넓히는 역할을 한다. 즉, 탐색범위를 넓혀 초기에 지역해(Local optima)로 수렴하는 것을 방지한다(Gen and Cheng, 2000).

본 연구에서는 재생산으로 현 세대의 가장 우수한 적합도를 가지는 염색체를 다음세대로 가져가는 엘리트전략(Elitist strategy)을 적용한다. 교차연산으로는 실행 불가능 해를 발생시키지 않고 다양한 해를 탐색할 수 있는 가장 일반적인 교차연산 중 하나인 한점 교차(One-point Crossover)방법을 사용한다. 한점 교차방법은 하나의 교차점을 임의로 선택하고 <Figure 3>과 같이 두 부모의 유전자를 교차하여 자식을 생성하는 방법이다. 돌연변이 연산으로는 <Figure 4>와 같이 부모의 유전자

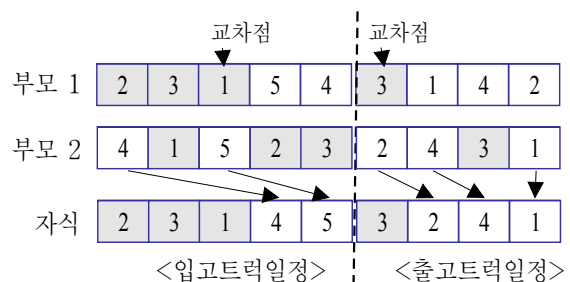


Figure 3. One-point crossover

에서 임의로 선택된 두 점을 상호 교환하여 자식을 생성하는 교환 돌연변이(Swap mutation)방법을 사용한다. 교차 및 돌연변이 연산은 임의의 선택에 의해 염색체의 구분선 좌우(입고 및 출고 트럭의 일정)에 모두 또는 한군데만 수행한다. 재생산, 교차연산 및 돌연변이 연산을 통해 새로 구성된 세대에 대해 적합도 평가를 실시하고, 이 과정을 주어진 최대 세대수에 도달 할 때까지 반복한다.

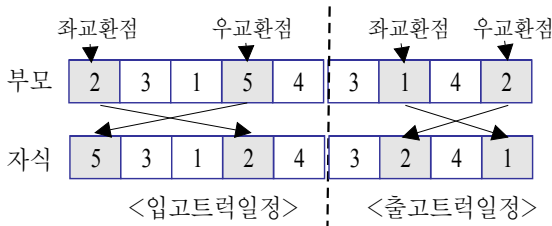


Figure 4. Swap mutation

세 가지 유전연산을 통해 다음세대를 구성하는 전체 절차는 <Figure 5>와 같다. 우선 현 세대의 가장 우수한 염색체 하나를 다음 세대로 복제(재생산)하고, 다음세대의 나머지 해집단은 교차 및 돌연변이 연산을 통해 생성된 자식 염색체들로 구성된다. 자식 염색체는 잠재부모집단으로부터 임의의 선택된 부모 염색체로부터 주어진 교차변이 확률 및 교차변이 확률을 이용하여 교차변이와 돌연변이 연산을 선택적으로 시행하여 생성한다.

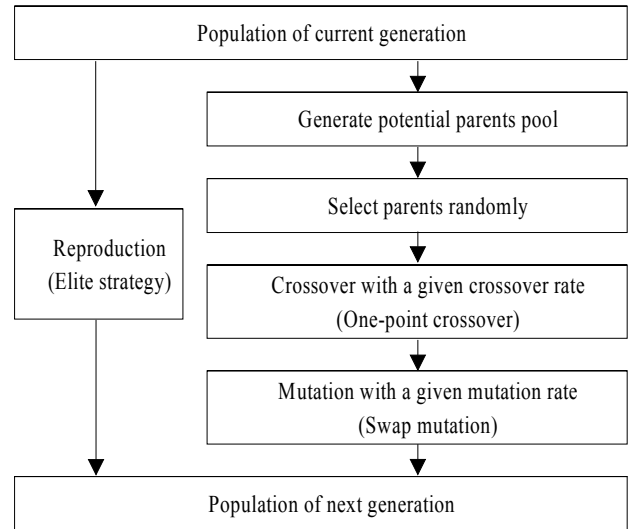


Figure 5. Generation method for next generation

#### 4. 알고리즘의 절대적 성능평가 및 상대적 성능평가

작업시간차가 주어진 크로스토킹 터미널에서 미 선적 물량 최소화화를 위한 입출고 트럭 일정계획을 위한 LPT\_SPT 알고리즘과 GA의 성능을 검증하기 위하여 두 가지 분류의 실험데이터를 생성하였다. 첫 번째 분류의 실험 데이터는 최적해와의 절

Table 1. Performance comparison of small sized problems

번호	실험데이터				CPLEX			LPT_SPT		GA		
	R	S	N	Q	최적해	DR	Time (Sec.)	해	DR	해평균	DR	Time (Sec.)
1	4	4	3	306	0	0.000	1.922	100	0.327	0.0	0.000	0.051
2	4	4	5	395	97	0.246	1.828	200	0.506	97.2	0.246	0.095
3	4	5	4	363	0	0.000	2.406	100	0.275	0.0	0.000	0.085
4	4	5	6	318	42	0.132	2.219	162	0.509	42.0	0.132	0.125
5	5	4	3	386	86	0.223	3.969	300	0.777	86.0	0.223	0.084
6	5	4	5	392	98	0.250	1.734	200	0.510	98.0	0.250	0.126
7	4	6	4	259	0	0.000	2.563	63	0.243	0.0	0.000	0.120
8	4	6	6	224	0	0.000	2.140	86	0.384	0.0	0.000	0.114
9	5	5	4	288	0	0.000	1.735	78	0.271	0.0	0.000	0.099
10	5	5	7	450	100	0.222	2.484	389	0.864	120.0	0.267	0.188
11	6	4	3	231	0	0.000	1.422	0	0.000	0.0	0.000	0.109
12	6	4	6	200	0	0.000	2.094	74	0.370	0.0	0.000	0.151
13	5	6	4	439	31	0.071	15.109	200	0.456	74.5	0.170	0.162
14	5	6	7	372	96	0.258	6.672	220	0.591	104.4	0.281	0.225
15	6	5	5	254	0	0.000	2.297	0	0.000	0.0	0.000	0.142
16	6	5	7	341	0	0.000	2.375	189	0.554	35.6	0.104	0.190
17	6	6	3	188	0	0.000	18.750	33	0.176	0.0	0.000	0.140
18	6	6	5	500	129	0.258	4580.540	371	0.742	130.3	0.261	0.186
19	6	6	6	331	40	0.121	25.328	291	0.879	40.0	0.121	0.195
20	6	6	7	260	0	0.000	61.109	115	0.442	6.8	0.026	0.220
평균						0.089	236.935		0.444		0.104	0.140

대 성능 평가를 위한 것이고, 두 번째 분류의 실험 데이터는 LPT\_SPT와 GA 간의 상대적인 성능 평가를 위한 것이다. 최적해와의 절대 성능 평가를 위한 실험데이터는 제한된 시간 이내에 상용패키지인 CPLEX를 통해 최적해를 구할수 있는 규모인 6개 이하의 입고 트럭수  $R$ 과 출고트럭수  $S$ , 7개 이하의 화물종류수  $N$ 를 갖도록 생성하였다. 반면, 휴리스틱 알고리즘 간의 상대적인 성능 평가를 현실적인 규모의 문제에 대해 수행하기 위하여, 총 입출고 트럭수를 25, 50, 75와 100으로 화물종류수를 5, 10, 15와 20으로 고정하여 실험 데이터를 생성하였다. 트럭의 교체시간  $D$ 와 화물 이동 및 분류시간  $V$ 는 모든 실험에 대해 각각 75단위시간과 100단위시간으로 동일하게 주었으며, 터미널의 최대 작업시간  $T$ 는 총 입출고 트럭수에 비례하여 다르게 주었다. 총 트럭수가 12개 이내일 때는 960단위

시간으로, 25, 50, 75와 100인 경우는 각각 1920, 3840, 5760, 7680단위시간으로 가정하였다.

제시된 알고리즘들의 최적해와의 절대 성능 평가 및 상대적인 성능을 평가하기 위한 척도로 식 (12)로 표현되는 총 물량 대비 미 선적 물량 비율(Delay Rate :  $DR$ )를 이용하였다.  $DR$ 은 재고로 남는 물량의 비를 의미하므로,  $DR$ 의 값이 적을수록 알고리즘의 효과(Effectiveness)가 좋다는 것을 의미한다.

$$DR = \frac{\text{미 선적물량}}{\text{총물량}(Q)} \quad (12)$$

최적해는 시간 제약을 3600초로 두고 ILOG CPLEX 10.2를 사용하여 구하였고, LPT\_SPT 및 GA는 C#.Net을 이용하여 구

Table 2. Performance comparison of large sized problems

번호	실험데이터				LPT_SPT		GA		
	$R$	$S$	$N$	$Q$	해	$DR$	해평균	$DR$	Time (Sec.)
1	10	15	5	513	195	0.380	0	0.000	0.888
2	11	14	15	740	487	0.658	137.6	0.186	2.306
3	12	13	10	646	286	0.443	40.4	0.063	1.541
4	12	13	5	479	245	0.511	0	0.000	0.883
5	13	12	20	464	182	0.392	34.9	0.075	2.534
6	13	12	10	876	559	0.638	200.9	0.229	1.870
7	14	11	20	662	555	0.838	154.1	0.233	2.848
8	15	10	15	587	276	0.470	86.7	0.148	2.261
9	22	28	20	1897	1347	0.710	430.6	0.227	29.965
10	23	27	5	1297	391	0.301	0	0.000	9.880
11	24	26	15	2089	2054	0.983	514.3	0.246	19.088
12	25	25	10	1892	1440	0.761	340.5	0.180	23.008
13	25	25	15	950	380	0.400	0	0.000	18.503
14	26	24	5	1493	469	0.314	11.3	0.008	11.478
15	27	23	10	971	455	0.469	0	0.000	15.250
16	28	22	20	1705	1084	0.636	429.4	0.252	28.091
17	34	41	15	1486	363	0.244	0	0.000	77.712
18	35	40	10	2359	1391	0.590	16.7	0.007	67.217
19	37	38	15	2641	1884	0.713	266.8	0.101	77.810
20	37	38	20	2157	1338	0.620	103.7	0.048	116.272
21	38	37	5	2087	1041	0.499	0	0.000	28.086
22	38	37	10	2543	1811	0.712	163.8	0.064	64.990
23	40	35	5	1251	0	0.000	0	0.000	44.764
24	41	34	20	2266	1554	0.686	225.9	0.100	110.216
25	45	55	10	4494	3171	0.706	795.6	0.177	178.316
26	47	53	20	3196	2280	0.713	197.6	0.062	330.030
27	49	51	5	3110	689	0.222	0	0.000	141.098
28	50	50	15	4013	3586	0.894	716.3	0.178	278.636
29	50	50	20	4199	2966	0.706	969.4	0.231	376.424
30	51	49	15	3165	2460	0.777	141.7	0.045	298.852
31	53	47	10	2747	1927	0.701	0	0.000	196.466
32	55	45	5	3811	1100	0.289	340.3	0.089	161.412
	평균					0.562		0.092	84.959

현하였다. GA는 모든 실험에 대해 해집단의 수를  $R+S$ 로, 총 세대수를 1,000으로 하여 10회씩 반복 실험하였고, 교차변이율과 돌연변이율은 여러 가지 조합의 예비 실험결과에서 가장 좋은 성능을 보였던 0.8과 0.2로 수행하였다. <Table 1>에는 첫 번째 분류의 각 실험데이터에 대해 CPLEX에 의한 최적해, LPT\_SPT 알고리즘에 의한 해와 GA에 의한 해의 평균을 정리하였고, 이들 각 해의 절대적인 성능 평가를 위해 DR을 계산하여 정리하였다. <Table 2>에는 알고리즘간의 상대적인 성능 평가를 위해 두 번째 분류의 각 실험데이터에 대해 LPT\_SPT 알고리즘에 의한 해와 GA에 의한 해의 평균 및 이들의 DR을 계산하여 정리하였다.

<Table 1>의 실험 결과를 보면, CPLEX의 최적해 탐색시간은 트럭 수가 늘어남에 따라 급속하게 늘어남을 알 수 있다. 실험에 의하면 입·출고 총 트럭의 수가 12대 이상이면 대부분의 경우에 제한된 시간(3600초) 이내에 최적해를 구할 수 없었다. 반면에 LPT\_SPT와 GA는 실험데이터 모두 1초 이내에 해를 탐색 할 수 있었다. 최적해의 평균 DR이 8.9%인 반면 LPT\_SPT의 DR 평균은 44.4%로 상당히 좋지 않은 결과를 보이는 반면, GA는 10.4%로 최적해에 대비 단지 1.5% DR이 증

가함을 알 수 있다. 이는 주어진 작업시간창 내에 처리되어야 할 물량이 100개라고 한다면 최적해 대비 평균 1.5개의 물량이 추가로 재고로 남게 된다는 것을 의미한다. 따라서 GA가 규모가 제한된 문제에 대해 그 성능이 대단히 우수함을 알 수 있다. <Table 2>의 실험 결과를 보면 LPT\_SPT와 GA의 DR은 각각 평균 56.2%와 9.2%으로 큰 규모의 문제에서도 GA의 성능이 LPT\_SPT에 비해 현저히 우수함을 알 수 있다. GA의 해 탐색시간은 총 트럭수 및 화물종류수가 많아질수록 커지나 모든 실험에 대해 수 분 이내일 정도로 적어 실제문제에 적용 시 효율적인 일정계획의 수립이 가능할 것이다.

LPT\_SPT 대비 GA의 상대적인 우수성을 통계적으로 검증하기 위하여 두 번째 분류의 모든 실험데이터에 대해 두 알고리즘의 DR을 95% 신뢰구간의 평균과 Tukey HSD intervals로 <Figure 6>에 나타내었다. <Figure 6>(a)는 전체 데이터를 대상으로 한 두 알고리즘의 DR에 대한 통계적 비교 결과이고, <Figure 6>(b)와 <Figure 6>(c)는 각각 총 트럭수의 변화와 화물 종류수의 변화에 따른 두 알고리즘의 DR에 대한 통계적 비교 결과이다. <Figure 6>에서 볼 수 있듯이, 두 알고리즘의 DR간에는 총 트럭수 또는 화물 종류수에 관계없이 통계적으로 유

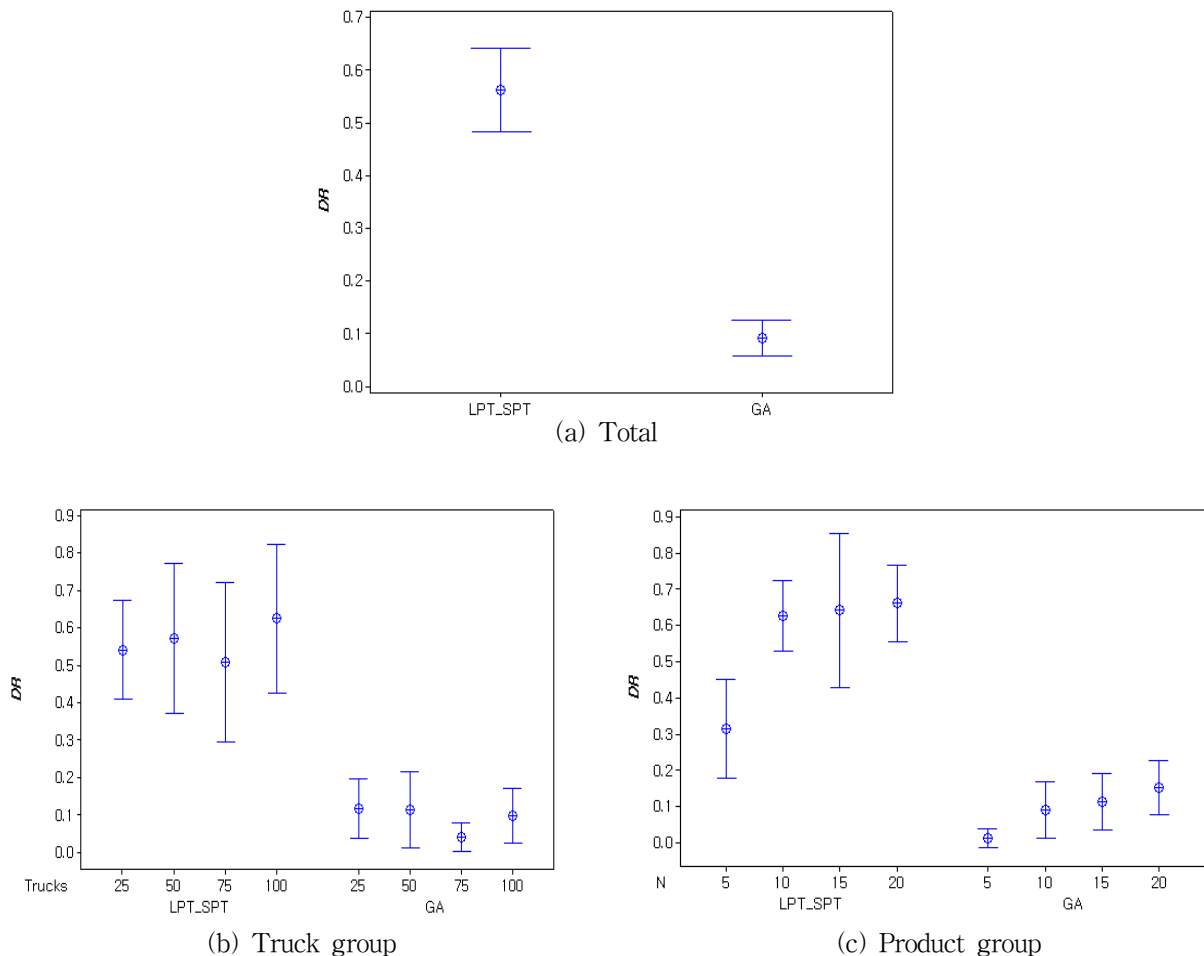


Figure 6. Mean plots and Tukey HSD intervals at the 95% confidence level of LPT\_SPT and GA

의함을 알 수 있다. 이는 LPT\_SPT에 비해 GA가 작업시간차이 주어진 크로스도킹 터미널에서 미 선적 물량 최소화를 위한 입고고 트럭 일정계획에 보다 효과적임을 의미한다.

## 5. 결론

본 연구에서는 작업시간차이 주어진 하차 도크와 상차 도크가 서로 분리되어 있는 크로스도킹 터미널의 입고 및 출고 트럭의 일정계획문제를 다루었다. 크로스도킹 터미널의 입고 및 출고트럭 일정계획문제의 목적은 주어진 작업시간차이 내에 처리하지 못하는 화물 수를 최소화하는 것이다. 최적해를 위한 혼합정수계획모형을 제시하고, 제한된 시간 내에 규모가 큰 문제에 대한 효율적인 해의 도출을 위해 LPT\_SPT 알고리즘과 유전알고리즘을 제시하였다. 제시된 알고리즘들의 성능을 평가하기 위해 우선, 규모가 작은 문제들에 대해 CPLEX에 의한 최적해와 절대 성능을 비교하였다. 또한, 규모가 큰 문제에 대해서 제시된 LPT\_SPT 알고리즘과 GA의 상대적인 성능을 평가하였다. 규모가 큰 문제에서 GA의 DR이 평균 9.2%로 LPT\_SPT 알고리즘 해에 비해 현저히 우수함을 알 수 있었다. 또한, GA가 작업시간차이 주어진 크로스도킹 터미널의 입고 및 출고 트럭의 일정계획문제에 대해 최적해에 근사한 해를 비교적 짧은 계산시간 내에 탐색하는 탁월한 효과가 있음을 입증하였다.

## 참고문헌

Apte, U. M. and Viswanathan, S. (2000), Effective cross docking for improving distribution efficiencies, *International Journal of Logistics*, **3**, 291-302.

- Baker, K. R. and Trietsch, D. (2009), *Principles of Sequencing and Scheduling*, Wiley and Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- Boysen, N. (2010), Truck scheduling at zero-inventory cross docking terminals, *Computers and Operations Research*, **37**, 32-41.
- Boysen, N., Flidner, M., and Scholl, A. (2010), Scheduling inbound and outbound trucks at cross docking terminals, *OR Spectrum*, **32**, 135-161.
- Chen, F. and Lee, C.-Y. (2009), Minimizing the makespan in a two-machine cross-docking flow shop problem, *European Journal of Operational Research*, **193**, 59-72.
- Gallien, J. and Weber, T. (2010), To Wave or Not to Wave? Order Release Policies for Warehouse with an Automated Sorter, *Manufacturing and Service Operations Management*, **12**(4), 642-662.
- Gen, M. and Cheng, R. (2000), *Genetic Algorithms and Engineering Optimization*, New York, Wiley.
- Joo, C. M. (2008), A Flexible Genetic Algorithm for Scheduling of Inbound and Outbound Trucks in Cross Docking Terminals, *Journal of the Korean Management Engineers Society*, **15**(3), 43-53.
- Joo, C. M. and Kim, B. S. (2011), A Genetic Algorithm for Scheduling of Trucks with Inbound and Outbound Process in Multi-Door Cross Docking Terminals, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **37**(3), 248-257.
- Li, Y., Lim, A., and Rodrigues, B. (2004), Crossdocking-JIT scheduling with time windows, *Journal of Operational Research Society*, **55**, 1324-1351.
- McWilliams D. L., Standfield, P. M., and Geiger, C. D. (2005), The parcel hub scheduling problem : a simulation-based solution approach, *Computers and Industrial Engineering*, **49**, 393-412.
- Soltani, R. and Sadjadi, S. J. (2010), Scheduling trucks in cross-docking systems : A robust meta-heuristics approach, *Transportation Research Part E*, **46**, 650-666.
- 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.