

크로스도킹 시스템의 최적 운영 전략

- Optimal Operational Strategy for Cross Docking Systems -

유우연 *

Yu Woo Yeon

조지운 **

Cho Chi Woon

양재경 ***

Yang Jae Kyung

Abstract

A cross docking operation involves multiple trucks (known as inbound trucks) that deliver items from suppliers to a distribution center and multiple trucks (known as outbound trucks) that ship items from the distribution center to customers. Based on customer demands, an inbound truck may have its items transferred to multiple outbound trucks. Similarly, an outbound truck can receive its consignments from multiple inbound trucks. A unique characteristic of a cross docking system is the absence or prohibition of long term storage of items at the distribution center. Items delivered to the distribution center from suppliers are shipped to customers as soon as possible without being placed in storage in the distribution center. The objective of this paper is to develop the optimal operational strategy for finding the best truck docking sequence for both inbound and outbound trucks in order to minimize total operation time where a temporary storage area is not available in a cross docking system.

Keyword : Supply Chain, Logistics, Distribution Center, Cross Docking, Operational Strategy.

† 이 논문은 2004년도 명지대학교 교내연구비 지원사업에 의하여 연구되었음.

* 명지대학교 산업시스템공학부 조교수

** 울산대학교 산업정보경영공학부 조교수

*** 전북대학교 산업정보시스템공학과 전임강사

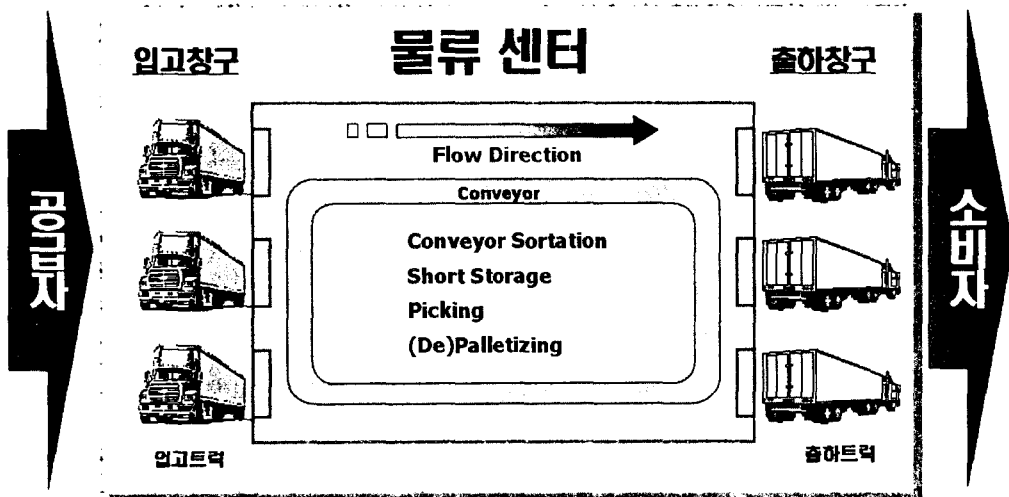
2006년 5월접수; 2006년 6월 수정본 접수; 2006년 6월 게재확정

1. 서론

최근 물류 및 유통에 대한 관심이 증가하면서, 기업은 구매에서 생산 그리고 판매에 이르는 모든 단계에서 재고의 감축을 통한 비용절감에 노력을 기울이고 있다. 또한 공급망 관리의 발전에 따라서 고객은 주문 물품에 대한 정확한 배송과 빠른 납기를 기대하고 있다. 이러한 고객의 기대는 예전에는 일주일로 예상하였던 주문에서 납기까지의 리드타임을 최근에는 하루 또는 이틀 이내의 납기에 대한 기대로 단축되었다. 기업은 고객의 서비스 기대 수준을 맞출 수 있도록 효율적인 공급망 관리 구축에 최선의 노력을 다하고 있다.

일반적으로 공급망 관리를 설계함에 있어서 효율적인 물류관리를 위해서 제조업체로부터 최종 소비자까지 직접 배송되기 보다는 물류센터(distribution facility)라는 중간 지점을 거쳐서 배송이 이루어진다. 이러한 물류센터를 운영함에 있어서 가장 커다란 비용을 차지하는 부분이 재고와 관련된 비용인데, 크로스도킹 시스템은 이러한 재고 비용을 절감하기 위하여 최근에 많이 활용되고 있는 물류기법이다.

크로스도킹은 물류센터의 운영 개념으로써 입고트럭에 의해 배달된 물품이 재고로써 보관됨이 없이 즉시 고객의 수요에 따라 재분류되어 출하트럭에 적재되어 고객에게 배달되는 프로세스로 구성된다<그림 1>. 만일 어떠한 물품이 보관된다면 그것은 아주 짧은 기간 동안만 보관되며, 보관 기간은 일반적으로 24시간을 넘지 않는다. 이러한 크로스도킹은 재고 비용 절감, 물류센터 공간의 감소, 그리고 고객의 주문에 대한 대응시간 감소 등의 이점을 지니고 있다.



<그림 1> 전형적인 크로스도킹 물류센터

크로스도킹 시스템은 하드웨어와 소프트웨어의 두 가지의 특성을 지니고 있다. 일반적으로 크로스도킹 시스템은 자동화 시스템을 기반으로 하여 운영되기 때문에 이에 적절한 하드웨어 장치를 갖추고 있는 것이 필요하다. 반면에, 소프트웨어는 크로스도킹의 운영이 유연하고 안정적으로 이루어질 수 있도록 유지시키는 역할을 한다. 아무리 최신의 하드웨어를 갖춘 크로스도킹 물류센터에서도 적절한 트럭을 적절한 시간에 적절한 창구에 배치시키는 알고리즘이라든지, 공급업체와 소비자 간에 정보의 교환이라든지, 또는 물품의 위치 추적과 같은 소프트웨어가 크로스도킹의 성공적인 운영을 위해서 필수적으로 필요하다. 즉, 성공적인 크로스도킹의 운영을 위해서는 적절한 하드웨어와 소프트웨어 두 가지 모두가 필요하다. 물류 시스템 또는 제품분류 시스템과 이들을 지원하기 위한 컴퓨터와 같은 하드웨어는 지난 수년간 지속적인 발전을 이루어, 오늘날 크로스도킹 시스템을 구축하기 위한 대부분의 하드웨어는 이용가능하다. 하지만 하드웨어의 발전과는 달리 크로스도킹을 위한 소프트웨어는 상대적으로 덜 발전했으며, 이러한 부분이 효율적인 크로스도킹 운영에 장애가 되고 있는 상황이다. 대부분의 경우에 효율적인 크로스도킹 시스템의 운영을 위해서 소프트웨어 측면이 가장 중요한 요인 중의 하나임에도 불구하고 지금까지는 이러한 점에 관심이 적었던 것이 사실이다. 본 연구의 목적은 크로스도킹 시스템을 효율적으로 운영하는데 있어서 가장 중요한 요인 중의 하나로 고려되는 물류센터의 총 운영시간을 최소화하는 입고트럭과 출하트럭의 일정계획 수립 전략을 개발하는데 있다.

2. 기존 연구

물류와 관련된 많은 상업적인 잡지 및 신문에서 General Motors[3], UPS[5], Wal Mart[6], 그리고 Toyota[11] 등과 같은 글로벌 기업에서의 성공적인 크로스도킹 운영에 따른 막대한 물류비용의 절감을 보고하고 있으나, 크로스도킹 시스템에 대한 학문적인 연구는 미흡한 실정이다. 이러한 학문적인 연구의 부재로 체계적이고 과학적인 크로스도킹 시스템의 적용은 아직까지 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

크로스도킹 시스템에 대한 첫 번째 학문적인 연구는 Rohrer[7]에 의해 발표되었다. 그는 크로스도킹 시스템을 모델링할 때의 기법과 발생할 수 있는 이슈에 대해서 논하였으며 크로스도킹의 성공적인 도입을 위해서는 시물레이션 기법을 통하여 최적의 하드웨어적인 요소와 소프트웨어적인 요소를 결정해야 한다고 주장하였다. 그는 논문에서 크로스도킹을 위한 시물레이션 모델은 가능한 한 실제의 크로스도킹을 표현할 수 있도록 자세하게 설계되어야 하지만 이로 인해서 시물레이션의 실행 시간이 너무 길어지지 않도록 주의해야 한다고 언급하였다. 그의 논문은 비록 크로스도킹 시스템의 구축에 있어서 시물레이션 기법을 활용할 것을 주장하였지만 실제적인 적용 사례는 발표되지 않았다.

크로스도킹 시스템 하에서의 운영방안에 대한 연구는 Yu[13, 14, 15, 16]에 의해서 발

표되었다. 그는 여러 가지 운영 환경 하에서 크로스도킹 시스템의 총 운영 시간을 최소화하기 위한 입고트럭과 출하트럭의 일정계획을 수립하기 위한 수학적 모델(mathematical model)과 경험적 기법(heuristic method)을 개발하여 다양한 모델에 적용하였다. 그는 논문에서 수학적 모델의 실무 적용은 장시간에 걸친 계산 시간(computational time)으로 불가능하기 때문에 다양한 경험적 기법들이 개발되어야 한다고 주장하였다. 그의 연구에서는 입고창구와 출하창구가 각각 하나인 크로스도킹 시스템을 가정하였기 때문에 그의 연구 결과에 대한 실무적인 적용은 어려운 점이 있지만 논문에서 수행된 크로스도킹 시스템의 운영 원리에 대한 분석은 복수 창구를 지닌 크로스도킹 시스템을 위한 운영 방안의 연구에 도움을 줄 것으로 기대된다.

마지막으로 최근에 Bartholdi 와 Gue[2]는 그들의 논문에서 크로스도킹 시스템을 위한 물류센터의 입고창구와 출하창구의 지형적인 배치 모양에 대해서 연구하였다. 물류센터를 효율적으로 운영하기 위해서는 물류센터 내부에서의 운반 거리를 줄이는 것이 중요하다고 판단하여 전통적인 직사각형 모양의 물류센터 이외에 L자형 물류센터, H자형 물류센터, 그리고 T자형 물류센터에 대한 실험을 하였다. 이들은 입고 창구 및 출하 창구의 크기에 따라 어떠한 모양의 물류 센터가 최적의 모양인지를 연구하였다.

이상에서 본 바와 같이 크로스도킹에 대한 학술적인 연구는 초기적인 상황이나 위의 논문들의 발표 후 현재 많은 연구가 경쟁적으로 시작되고 있는 상황이다. 본 연구에서는 Yu[15]의 논문에서 연구된 임시보관 장소가 없는 크로스도킹 시스템을 적용한 물류센터의 총 운영시간을 최소화하기 위한 최적 운영전략 수립을 목표로 하여 이루어졌다.

3. 크로스도킹 시스템의 최적 운영 전략 개발

3.1 크로스도킹 모델 설명

본 연구에서 고려되는 크로스도킹 시스템은 다음과 같이 운영된다고 가정된다.

- 1) 입고트럭은 물류센터에 도착하여 입고창구에 적재하고 있는 물품을 하역한다.
- 2) 물품은 컨베이어를 수송수단으로 입고창구로부터 적절한 출하창구로 이동된다.
- 3) 출하창구에서 출하트럭으로 물품이 적재된 후 출하트럭은 물류센터를 떠난다.

본 연구에서 수행되는 크로스도킹 시스템은 물품 인식 또는 분류 작업등을 포함하여 물류센터 내에서 수행되는 작업은 고려하지 않는다. 따라서 출하창구에 도착하는 물품의 순서는 입고창구에서 하역된 순서와 동일하다.

크로스도킹 시스템은 이용가능한 입고창구와 출하창구의 수, 입고트럭과 출하트럭의 창구에서의 운영 방법, 그리고 임시 보관 장소의 유무에 따라서 다양한 크로스도킹 모델 또는 시나리오가 생성될 수 있다[13]. 본 연구에서는 단일의 입고창구와 단일의 출하창구가 각각 존재하는 경우를 가정으로 하며 물류센터에서는 임시보관 장소가 존재

하지 않는다는 것을 가정한다. 하지만 입고트럭과 출하트럭은 그들의 작업 시 필요에 따라 교체가 가능하다. 즉, 입고트럭은 일부의 물품을 하역한 뒤 다른 입고트럭으로 교체되어 다른 입고트럭이 하역하는 동안 대기하고 있다가 다시 입고창구에 들어와서 나머지 물품을 하역할 수 있다. 마찬가지로 출하트럭은, 일부분의 물품을 적재한 뒤 출하창구를 빠져나와 대기를 하다가 다시 출하창구로 들어가 필요한 물품을 적재할 수 있다. 위의 가정과 아울러 본 연구는 다음과 같은 가정 하에서 이루어진다.

- 1) 모든 입고트럭과 출하트럭은 “시간 0”에 이용 가능하다.
- 2) 단위 기간 동안에 (예를 들면, 1일) 물류센터로 입고되는 모든 물품은 반드시 그 단위 기간 내에 출하된다.
- 3) 각 물품 종류에 대해서 단위 기간 동안에 입고되는 물품의 총 수량과 출하되는 물품의 총 수량의 종류와 수는 동일하다.

본 연구의 목적인 크로스도킹 시스템의 총 운영시간을 최소화하는 전략을 개발하기 위해서 본 연구에서는 경험적 기법(heuristic algorithm)이 사용되었다. 위의 모델에 대한 수학적 모델은 Yu[15]의 논문에서 개발되었으며, 그는 논문에서 변수와 제약함수의 지수적인 증가 때문에 수학적 모델의 적용이 소형모델에서도 어렵다고 언급하였으며, 따라서 적절한 경험적 기법에 의한 알고리즘이 개발되어야 한다고 주장하였다. 본 연구에서 개발된 경험적 기법은 해답을 빠르게 찾을 수 있으므로 중대형 문제뿐만 아니라 현실적인 문제에 있어서도 적용 가능하다.

3.2 크로스도킹 모델의 특징

본 연구에서 고려하는 크로스도킹 시스템에서는 두 종류의 지연시간이 발생할 수 있다. 첫째 종류의 지연시간은 출하트럭의 교체 시에 발생할 수 있다. 두 번째 종류의 지연시간은 출하트럭이 현재 출하창구에 있으나 출하트럭에 필요한 물품이 출하창구에 없어서 입고창구로부터 필요한 물품이 도착할 때까지 대기하는 시간이다. 입고트럭의 교체는 출하트럭의 대기를 위한 지연시간을 발생한다. 즉, 본 연구에서 고려하는 크로스도킹 모델에 대한 두 종류의 지연시간은 모두 트럭 교체와 관련이 있다.

위의 특징에 따라서, 만일 트럭교체의 수를 최소화 한다면 크로스도킹 시스템의 총 운영시간을 최소화 할 수 있을 것이라는 사실을 유추할 수 있다. 트럭교체의 최소화는 입고트럭과 출하트럭의 쌍(matching pair)을 최소화함으로써 이를 수 있다. 만일 어떠한 물품이 입고트럭으로 부터 하역되어 출하트럭으로 적재되었다면 입고트럭과 출하트럭은 쌍을 이루었다고 정의된다. 본 연구에서 개발된 크로스도킹 시스템을 위한 운영전략은 위의 입고트럭과 출하트럭의 쌍의 수를 최소화 하는 것을 기본적인 개념으로 하여 개발되었다.

3.3 크로스도킹 운영 전략

본 연구에서는 세 가지의 운영전략이 개발되었다. 세 전략 모두 반복적인(iterative) 기법을 사용한다. 각 단계(iteration)에서, 개발된 전략에 따라서 최적의 입고트럭과 출하트럭 쌍이 선택된다. 최적의 쌍이 선택된 후에는 선택된 쌍의 입고트럭으로부터 출하트럭으로 이동하는 물품을 각각의 트럭으로부터 감소시킨 후 남겨진 물품이 업데이트 된다. 이러한 선택과 업데이트 과정이 모든 물품이 입고트럭으로부터 출하트럭으로 배정될 때까지 계속되며, 더 이상 입고트럭으로부터 하역할 물품과 출하트럭으로 적재할 물품이 남아있지 않을 경우에 본 알고리즘은 마치게 된다. 본 연구에서 개발된 세 가지의 전략은 다음과 같다.

1. 전략 1 (Maximum Flow 전략) - 본 전략은 입고트럭으로부터 출하트럭으로 최대 물품을 이동시키는 쌍을 선택하는 전략이다. 입고트럭으로부터 출하트럭으로 이동되는 물품의 총 수량은 다음 수식으로부터 계산된다.

$$\alpha_{ij} = \sum_{k=1}^N \min(r'_{ik}, s'_{jk}) \quad (1)$$

where,

α_{ij} : 입고트럭 i 에서 출하트럭 j 로 이동되는 물품의 총 개수,

N : 총 물품 종류의 수,

r'_{ik} : 주어진 단계에서 입고트럭 i 에 적재되어 있는 물품 k 의 수량,

s'_{jk} : 주어진 단계에서 출하트럭 j 에 적재되어 있는 물품 k 의 수량.

2. 전략 2 (Maximum Ratio 전략) - 본 전략은 입고트럭과 출하트럭에 적재된 총 물품의 수량에서 입고트럭으로부터 출하트럭으로 이동되는 물품의 비율이 최대인 쌍을 선택하는 전략이다. 비율은 다음 수식으로부터 계산된다.

$$\beta_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N \min(r'_{ik}, s'_{jk})}{\sum_{k=1}^N \max(r'_{ik}, s'_{jk})} \quad (2)$$

where,

β_{ij} : 입고트럭 i 와 출하트럭 j 에 적재된 총 물품의 수량 대비 입고트럭 i 로부터 출하트럭 j 로 이동되는 물품의 비율.

입고트럭과 출하트럭의 비율 β_{ij} 는 입고트럭과 출하트럭의 상관관계로 고려될 수 있다. β_{ij} 의 범위는 0 에서 1 사이이다. 비율 $\beta_{ij} = 0$ 이라는 것은 입고트럭

i 에서 출하트럭 j 로 이동시킬 수 있는 물품이 아무것도 없다는 것을 의미한다. 반대로, 비율 $\beta_{ij} = 1$ 이라는 것은 입고트럭에 있는 물품의 종류와 각 물품에 대한 수량이 출하트럭에 있는 것과 정확히 일치한다는 것을 의미한다. 만일 분모가 0의 값을 가지면 $\beta_{ij} = 0$ 으로 가정한다.

3. 전략 3 (Maximum Fitness 전략) - 본 전략은 입고트럭과 출하트럭의 적합성이 최대한 쌍을 선택하는 전략이다. 적합성은 다음 수식으로부터 계산된다.

$$\delta_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N \frac{\min(r'_{ik}, s'_{jk})}{\max(r'_{ik}, s'_{jk})}}{\sum_{\substack{k=1 \\ r'_{ik} \neq 0 \text{ or } s'_{jk} \neq 0}}^N 1} \quad (3)$$

where,

δ_{ij} : 입고트럭 i 와 출하트럭 j 쌍의 적합성.

입고트럭과 출하트럭의 적합성 δ_{ij} 는 입고트럭과 출하트럭의 상관관계로 고려될 수 있다. 하지만, 적합성 δ_{ij} 는 각 트럭에 적재된 물품 종류의 수량 차이에 관계없이 물품 종류간의 비중을 일정하게 두고 있다는 것에서 전략 2에서 개발된 β_{ij} 와 차이점을 갖는다. 위 수식에서 분모는 입고트럭 또는 출하트럭에 적재되어 있는 물품 종류의 수를 나타낸다. 적합성 δ_{ij} 의 범위는 0 에서 1 사이이다. 적합성 $\delta_{ij} = 0$ 이라는 것은 입고트럭 i 에서 출하트럭 j 로 이동시킬 수 있는 물품이 아무것도 없다는 것을 의미한다. 반대로, 적합성 $\delta_{ij} = 1$ 이라는 것은 입고트럭에 있는 물품의 종류와 각 물품에 대한 수량이 출하트럭에 있는 것과 정확히 일치한다는 것을 의미한다. 만일 분모가 0의 값을 가지면 $\delta_{ij} = 0$ 으로 가정한다.

3.4 크로스도킹 운영 전략 알고리즘

본 연구에서 개발된 경험적 기법은 다음의 절차에 따라서 실행된다.

Step 1

각 입고트럭 i 와 출하트럭 j 쌍에 대해서 위에서 개발된 세 가지 전략 중 채택된 전략에 대해서 α_{ij} (식 1), β_{ij} (식 2), 또는 δ_{ij} (식 3)의 값을 계산한다.

Step 2

만일 위에서 계산한 α_{ij} , β_{ij} , 또는 δ_{ij} 의 값이 0 이면 중지한다; 크로스도킹 시스템을 위한 해를 구했다. 해는 입고트럭과 출하트럭의 쌍을 나타낸다. 만일 α_{ij} , β_{ij} , 또는 δ_{ij} 의 값이 0 이 아니면 최고 높은 값을 갖는 α_{ij} , β_{ij} , 또는 δ_{ij} 를 선택한다. 만일 최고

값을 가진 쌍이 둘 이상일 경우에는 임의적으로 선택한다.

Step 3

Step 2 에서 선택한 쌍의 입고트럭 i 로부터 출하트럭 j 로 이동되는 물품의 수량만큼 각 트럭에서 감소시킴으로써 입고트럭과 출하트럭에 남겨진 물품의 수량을 업데이트 한다. Step 1 으로 이동하여 절차를 계속 진행한다.

3.5 입고트럭과 출하트럭의 일정계획 수립

본 연구에서는 입고트럭과 출하트럭의 쌍을 최소화하는 것을 기준으로 하여 해를 구하였다. 하지만, 본 연구의 목적은 입고트럭과 출하트럭의 쌍을 구하는 것이 아니라 입고트럭의 일정과 출하트럭의 일정을 구하는 것이다. 따라서 입고트럭과 출하트럭의 쌍을 입고트럭의 일정과 출하트럭의 일정으로 변화시키는 방법이 필요하다.

본 연구에서 고려하는 크로스도킹 시스템의 운영방식 하에서 만일 입고트럭이 어떠한 출하트럭에 필요한 물품을 모두 하역하고 아직 하역해야 할 물품이 더 남아있다고 가정하자. 그러한 경우에 두 가지 중 한 가지 결정을 하여야만 한다. 두 가지 결정 사항은 입고트럭을 교체하여 물품을 하역하든지 또는 입고트럭에서 물품을 계속적으로 하역하고 적절한 출하트럭으로 교체하는 것이다. 입고트럭을 교체할 경우에 입고트럭의 교체에 필요한 지연시간이 발생하며 그 지연시간 동안은 출하트럭이 교체를 하든지 또는 머물러 있든지에 관계없이 출하트럭에 물품을 적재할 수 없다. 따라서 입고트럭의 교체에 따른 지연시간은 입고트럭 교체에 필요한 시간과 동일하다.

두 번째 경우처럼 입고트럭에서 물품을 계속적으로 하역하는 경우에는 물류센터가 임시보관 장소를 보유하고 있지 않으므로 적절한 출하트럭으로 교체를 하여야 하며 출하트럭 교체에 대한 지연시간이 발생한다. 만일, 입고트럭 교체시간과 출하트럭 교체시간을 동일하다고 가정할 경우에는 위에서 어떠한 결정을 내리더라도 총 운영시간에는 변동이 없다. 또한 이러한 가정 하에서는 입고트럭과 출하트럭을 동시에 교체하더라도 입고트럭만 교체하거나 출하트럭만을 교체하는 것과 동일한 지연시간만이 발생하게 된다. 위와 같은 특징에 의해 입고트럭과 출하트럭의 쌍을 구한 해답으로부터 입고트럭 일정과 출하트럭 일정으로 전환하기 위해서는 단순히 일정으로 잡히지 않은 임의의 쌍을 선택하여서 입고트럭은 입고트럭 일정의 맨 마지막에 순서에 위치시키고 출하트럭은 출하트럭 일정의 맨 마지막에 위치시키는 과정을 모든 쌍이 선택되어 일정에 추가될 때까지 실시하면 된다. 즉, 입고트럭과 출하트럭 쌍을 임의적으로 하나씩 선택하여 입고트럭 일정과 출하트럭 일정을 계획하면 된다.

4. 크로스도킹 모델 적용 및 결과

본 연구에서 개발한 세 가지 전략이 임의적으로 생성된 20 개의 크로스도킹 테스트 문제들에 대해서 적용되었다. 본 연구에서 적용된 테스트 문제들은 Yu[13] 에서 개발된 문제들로서 처음 10 개의 테스트 집합은 입고트럭과 출하트럭이 각각 3 개에서 5 개 사이에 있으며 총 물품의 수가 890개에서 1030개 사이에 있는 테스트 문제들이다. 다음 10 개의 테스트 문제들은 처음 10개의 테스트 집합보다 약간 더 큰 테스트 집합으로써 입고트럭과 출하트럭의 수가 각각 4 개에서 6 개 사이이며 총 물품의 수는 1180 개에서 2030 개 사이로 구성되었다. 본 연구에서 개발한 전략을 적용한 결과 <표 1>에 나타난 것과 같은 결과를 얻었다. <표 1>은 Yu[15] 에서 개발된 수학적 모델로부터 도출된 최적해와 본 연구에서 개발한 전략을 적용한 해를 비교하였다. 최적화를 계산하기 위한 수학적 모델은 정수계획법 문제로서 결정변수의 수는 가장 작은 경우인 81개부터(3번 문제) 가장 많은 경우인 360개(20번 문제)로 분포하고 있다. 제약함수의 수는 가장 적은 경우인 116개(1번 문제)부터 가장 많은 경우인 432개(20번 문제)로 분포하고 있다.

<표 1> 입고트럭과 출하트럭 쌍의 수에 대한 최적해와 세 가지 전략을 적용한 해

일련번호	입고트럭 수	출하트럭 수	물품종류 수	가능한 쌍의 수	최적해	전략 1 (Flow)	전략 2 (Ratio)	전략 3 (Fitness)
1	4	5	4	20	11	12	12	12
2	5	4	6	20	11	13	13	13
3	3	3	8	9	8	9	8	9
4	5	5	8	25	16	19	20	18
5	5	3	8	15	11	12	12	12
6	4	4	5	16	11	12	11	11
7	5	4	6	20	11	12	12	12
8	3	5	7	15	12	12	12	12
9	4	4	8	16	12	12	12	12
10	3	4	9	12	10	11	11	11
11	5	4	6	20	11	12	12	12
12	6	4	8	24	15	18	18	17
13	5	6	8	30	17	19	19	18
14	5	5	8	25	15	20	20	18
15	6	5	4	30	13	18	17	17
16	5	6	6	30	16	17	18	17
17	4	4	7	16	11	12	11	12
18	6	6	7	36	16	18	18	17
19	5	5	10	25	16	18	18	18
20	6	6	9	36	18	22	21	22

최적화를 위한 수학적 모델은 위에서 보는 바와 같이 입고트럭의 수와 출하트럭의 수, 그리고 물품종류의 수가 증가함에 따라 결정변수 및 제약함수의 수가 지수적으로

증가하며 이에 비례하여 정수계획법을 이용한 최적해 계산 시간도 증가한다. 반면, 전략 1, 전략 2, 그리고 전략 3을 위한 컴퓨터 계산 시간은 Intel Pentium 4 CPU 2.80GHz 컴퓨터로 실행한 결과 실행시간이 모든 20개의 문제에 대하여 0.000000초로써 매우 빠르게 적용됨을 알 수 있다. 표에 나타난 결과를 분석하여 보면 전략 3인 Maximum Fitness 전략이 모든 테스트 문제에 대해서 전략 1인 Maximum Flow 전략보다 최소한 같거나 좋은 해를 가지는 것을 발견할 수 있었다. 이러한 결과는 일반적으로 물류 현장에서 가장 많은 제품을 공유하는 입고트럭과 출하트럭의 선정을 우선적으로 하는 것에 비해 Fitness 수치가 높은 것을 우선적으로 선정하는 것이 더 좋은 해를 얻을 수 있다는 점을 시사한다. 하지만, 위의 결과를 비교하여 보면 수치의 차이가 그다지 높지 않으므로 보다 광범위한 데이터에 대한 검증이 필요할 것으로 판단된다.

전략 2(Maximum Ratio 전략)와 전략 3(Maximum Fitness 전략) 사이에는 일부 해는 전략 2가 더 좋은 해를 구하였으며 일부 해는 전략 3이 더 좋은 해를 구하여서 어떠한 전략이 더 효율적이라고 결론짓는 것이 어렵다고 판단되었다. 하지만, 20개의 테스트 문제에 대해서 두 전략들 사이에 더 좋은 해를 찾은 회수를 비교하여 보면 전략 2가 14회 전략 3이 17회로써 전략 3이 상대적으로 더 좋은 해를 찾았음을 간접적으로 알 수 있다. 한 가지 재미있는 사실은 문제 일련 번호 3과 17 문제에 대해서는 전략 2만이 최적해를 찾았다는 것을 발견할 수 있다. 또한 위의 실험으로부터 일반적으로 문제의 크기가 증가할수록 최적해를 찾을 확률이 감소한다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서 개발한 전략들의 장점중 하나는 실행시간이 빠르다는 것이다. 따라서 개발된 세 가지 전략을 모두 적용한 후 그 중 가장 좋은 해를 선택하는 전략을 취할 수 있다. 이러한 전략을 취한다고 가정하였을 경우에 표에서 보는 바와 같이 전략에 의해 구한 해는 최적해와 비교할 때 대부분의 경우에 입고트럭과 출하트럭의 쌍의 수가 1개 또는 2개의 차이만을 발생시키는 것을 알 수 있다. 최적해와 가장 큰 차이를 보이는 테스트 문제는 테스트 일련번호 15번에서 발생하였는데 최적해가 13개의 쌍을 구한 반면 전략 2 또는 전략 3에서는 17개의 쌍을 구함으로써 4쌍의 차이를 보였다. 하지만, 전략으로 구한 17개의 쌍은 전체 가능한 쌍의 수가 30개였다는 것에 비교하면 매우 좋은 해임을 간접적으로 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 특정한 전략을 선택하여 그 전략만을 적용하기 보다는 세 가지 전략을 모두 적용한 후 가장 좋은 해를 발견한 전략을 선택하는 것을 추천한다.

5. 결론

본 연구에서 고려한 크로스도킹 모델은 물류센터 내에 임시보관 장소가 없다는 것을 가정하였다. 하지만, 입고트럭과 출하트럭은 그들의 작업 시 필요에 따라 교체가 가능하였다. 이러한 환경 하에서 크로스도킹 시스템을 적용한 물류센터의 총 운영시간을 최소화하기 위한 세 가지의 전략을 개발하고 경험적 기법을 사용하여 이들 전략을 실

행하였다. 이들 전략을 적용한 경험적 기법에 의하여 도출된 해는 입고트럭과 출하트럭 쌍으로 표현되었으며 이러한 해를 입고트럭 일정계획과 출하트럭 일정계획으로 표현하기 위한 방법도 제시하였다. 본 연구에서 개발한 전략을 20 개의 테스트 문제에 적용한 결과 전략 3인 Maximum Fitness 전략이 가장 우수한 것으로 판명되었으나, 일부 해에서는 전략 2인 Maximum Ratio 전략만이 최적해를 구하는 것을 발견하였다. 본 연구 전략의 실행은 매우 빠른 시간에 적용될 수 있으므로 특정한 전략을 선택하여 그 전략만을 적용하기 보다는 세 가지 전략을 모두 적용한 후 가장 좋은 해를 갖는 전략을 선택하는 것을 추천하였다. 본 연구에서 도출된 전략은 향후 임시보관 장소를 보유한 크로스도킹 시스템을 위한 전략 수립 및 경험적 기법 개발에도 활용될 수 있을 것으로 생각되며 이러한 전략 및 기법이 개발된다면 현실적인 문제에도 활용이 가능할 것으로 기대된다.

6. 참 고 문 헌

- [1] Apte, U.M and Viswanathan S., "Effective Cross Docking for Improving Distribution Efficiencies", International Journal of Logistics, Vol.3 (2000), : 291-302.
- [2] Bartholdi, John J. and Gue, Kevin R. "The Best Shape for a Crossdock", Transportation Science, 38(2) (2004) : .235-244.
- [3] Bhaskaran, Sita "Identification of Transshipment Center Locations - General Motors, U.S.A.", European Journal of Operational Research, Vol.63 (1992), : 141-150.
- [4] Cooke, James Aaron, "Do You Have What It takes to Cross Dock?", Logistics Management, September (1996) : 47-50.
- [5] Forger, Gary, "UPS starts World's Premiere Cross-Docking Operation", Modern Materials Handling, November (1995) : 30-36.
- [6] Gue, Kevin R., "Cross Docking: Just-In-Time for Distribution", working paper, (2002)
- [7] Rohrer, Matthew, "Simulation and Cross Docking", Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference, (1995) : 846-848.
- [8] Schaffer, Burt, "Cross Docking can Increase Efficiency", Automatic I.D. News, 14(8) July (1998) : 34-37.
- [9] Schwind, Gene F., "Considerations for Cross Docking", Material Handling Engineering, 50(12) November (1995) : 47-51.
- [10] Schwind, Gene F., "A Systems Approach to Docks and Cross Docking", Material Handling Engineering, 51(2) February (1996) : 59-62.
- [11] Witt, Clyde E., "Cross Docking : Concepts Demand Choice", Material Handling Engineering, 53(7) July (1998) : 44-49.

- [12] Wurz, Al, "Cross Docking is Workable Today!", Automatic I.D. News, 10(5) May (1994) : 56-57.
- [13] Yu, Wooyeon, "Operational Strategies for Cross Docking Systems", Iowa State University, Ph.D Dissertation, (2002).
- [14] Yu, Wooyeon, "Scheduling Problem of Receiving and Shipping Trucks for Cross Docking Systems", 대한안전경영과학회지, 4(3), (2002) : 79-93.
- [15] Yu, Wooyeon, "Mathematical Model for Cross Docking Systems without Temporary Storage", 대한안전경영과학회지, 5(3), (2003) : 165-177.
- [16] Yu, Wooyeon, "Minimizing Product Damage through Optimal Truck Schedule in a Cross Docking System", 대한안전경영과학회지, 7(1), (2005) : 137-146.

저 자 소 개

유 우 연 : 현 명지대학교 산업시스템공학부 조교수

관심분야는 SCM, Logistics, Material Handling Systems 등이다.

조 지 운 : 현 울산대학교 산업정보경영공학부 조교수

관심분야는 Material Handling, SCM, BPM, RTE, PI 등이다.

양 재 경 : 현 전북대학교 산업정보시스템공학과 전임강사

관심분야는 정보시스템, 데이터마이닝, 데이터베이스, 의사결정론, OR응용 등이다.

저 자 주 소

유 우 연 : 경기도 용인시 기흥 상하 수원동마을 쌍용아파트 307동 1204호

조 지 운 : 경기도 성남시 분당구 정자동 정든동아 101동 1504호

양 재 경 : 전북전주시 완산구 서신동 동아1차 아파트 111동 1102호