

기존 물류 네트워크 기반에서 크로스-도킹 거점선정에 관한 연구

이인철¹ · 이명호^{2*} · 김내현³

¹삼성전자 로지텍 / ²세명대학교 인터넷정보학부 / ³아주대학교 산업정보시스템학부

A Study on Selection of Cross-Docking Center based on Existing Logistics Network

In-Chul Lee¹ · Myeong-Ho Lee² · Nae-Heon Kim³

¹Business Innovation Group, Samsung Logitech, Suwon, 443-390

²Division of Internet Information, Semyung University, Jecheon, 390-711

³Division of Internet Information, Ajou University, Suwon, 443-749

Many Firms consider the application of a cross-docking system to reduce inventory and lead-time. However, most studies mainly concentrate on the design of a cross-docking system. This study presents the method that selects the cross-docking center under the existing logistics network. Describing the operation environment to apply the cross-docking system, the selection criteria of the cross-docking center, and the main constraints of transportation planning under the environment of multi-level logistics network, we define the selection problem of the cross-docking center applied to a logistics field. We also define the simulation model that can analyze variously the cross-docking volume and develop the selection methodology of the cross-docking center. The simulation model presents the algorithm and influence factors of the cross-docking system, the decision criteria of the system, policy parameter, and input data. In addition, this study analyzes the effect of increasing the number of simultaneous receiving and shipping docks, and the efficiency of the overnight transportation and cross-docking by evaluating each scenario after simulating the scenarios with the practical data of the logistics field.

Keywords: cross-docking center, logistics network, simulation model

1. 서론

첨단기업이 물류 운영업무를 보다 잘 통제할 수 있도록 도와주는 물류 관리방법으로 크로스-도킹(Cross-Docking)이 대두되면서, 많은 기업들이 비용절감과 고객서비스 향상을 위하여 크로스-도킹의 추진을 고려하고 있다(Yu, 2002). 물류센터의 운영업무는 입하, 분류, 저장, 피킹, 출하 등 5가지 작업으로 구성

된다. 운영비용과 효율성을 향상시키는 가장 좋은 방법은 각 작업의 생산성을 향상시키는 것이 아니라, 가능하다면 작업을 제거하는 것이다. 크로스-도킹의 추진을 통하여 가장 비용이 많이 발생하는 작업인 저장과 피킹 작업을 제거할 수 있다.

크로스-도킹은 물류거점에서 입고물량을 수령하는 즉시, 중간 저장단계가 거의 없거나 전혀 없이 바로 출고되는 재고량과 하역비용을 줄이는 물류개념이다(Maida *et al.*, 2000).

*연락처 : 이명호 교수, 390-711 충청북도 제천시 신월동 21-1 세명대학교 인터넷정보학부, Fax : 043-644-6966,

E-mail : mhlee@semyung.ac.kr

2005년 9월 접수, 2회 수정 후 2005년 12월 게재 확정.

크로스-도킹을 추진하기 위해서는 먼저 크로스-도킹 거점을 선정하여야 한다. 이를 위해 물류네트워크를 재설계하는 과정에서 크로스-도킹 거점을 선정할 수 있다. 하지만 크로스-도킹을 점진적으로 추진하고자 하는 기업의 입장에서는 물류센터의 추가적인 증설을 고려하지 않으면서, 단지 운영환경의 변화에 따른 크로스-도킹의 효과를 검증하고자 한다. 이를 위해서는 현실을 가능한 한 그대로 반영하여 시간에 따라 변하는 크로스-도킹 물동량을 다양하게 분석할 수 있는 해법이 요구된다.

물류시설을 계획하고 운용함에 있어서 효율적이며 적절한 위치를 선정함으로써 물류비용을 절감할 수 있고, 물류서비스의 향상을 가져올 수 있다. 거점을 선정하기 위한 네트워크 분석방법에는 정적 방법과 동적 방법이 있다. 정적 방법에는 분석적 기법과 최적화 기법이 있고, 동적 방법에는 시뮬레이션 모델링 방법이 있다. 최적화 기법에서 시설물의 위치결정문제(Facility Location Problem)는 평균거리 최소화 문제(Median Problem), 최대통행거리 최소화 문제(Center Problem), 요구조건 최적화 문제(Requirement Problem) 등 3가지의 유형으로 분류할 수 있다(Park, 2002).

본 논문에서는 현장에 적용 가능한 크로스-도킹 거점선정 문제를 정의하고 동적 방법인 시뮬레이션 모델링을 통한 해법을 제시한다. 또한 현장의 실 데이터를 대상으로 시뮬레이션을 수행한 후, 시나리오 간 분석을 통하여 크로스-도킹의 효과, 야간운송의 효과 및 동시 입출고 dock 증설의 효과를 분석한다.

2. 기존 연구에 대한 고찰

입·출고 dock의 수, 차량의 dock 대기유형, 임시 저장공간의 유무에 따라서 32개의 크로스-도킹 운영모델이 생성될 수 있다고 한다. 이 가운데 3가지 모델에 대하여 크로스-도킹 시스템의 총 운영시간을 최소화하거나 throughput을 최대화하는 입·출고 차량의 최적 spotting 순서를 결정하는 발견적 알고리즘을 제안한다. 여기서 입·출고 차량의 제품 라우팅과 spotting 순서는 동시에 결정된다(Yu, 2002).

일정 기반(Schedule-Driven) 크로스-도킹 시스템은 차량 이용률이 잠재적으로 낮을 수 있지만, 보장된 서비스 수준을 제공하도록 설계되어 있다(Donaldson *et al.*, 1998). 차량 기반(Load-Driven) 크로스-도킹 시스템은 차량 가동률은 높여주는 반면, 서비스 수준을 감소시킨다. 차량 기반 시스템에서 크로스-도킹의 수와 위치를 결정하기 위한 혼합정수계획 모델을 개발하였다(Ratiff *et al.*, 2000).

Hason and Jayaraman은 다품종(multi-commodity), 다설비(multi-plant), 제한적 용량을 가지는 시설의 위치문제를 결정하는 모형과 Lagrangian relaxation에 근거한 효율적인 발견적 알고리즘을 제안하였다(Hason and Jayaraman, 1998). 제약사항은 여러 개

의 생산설비에서 생산된 다품종 제품을 여러 창고로 보내고, 이를 다시 특정 제품을 요구하는 수요자에게 배송하는 형태를 가진다. 제안하는 알고리즘은 전체 수송네트워크의 운영비용을 최소화시킬 수 있는 최적의 생산설비와 창고의 집합을 선택하며, 생산설비의 용량과 창고의 용량, 선적되는 물량을 결정하였다.

Park은 배달기일을 준수하면서 비용을 최소화하고 고객만족도를 높일 수 있는 허브(Hub)의 개수 및 용량선정을 위한 수학적모형을 구성하고, 수학적모형 적용의 효과분석을 위하여 ILOG OPL(Optimization Programming Language) Studio를 사용하여 해법을 소개하였다(Park, 2002).

그러나 본 연구와 관련된 기존 연구에는 크로스-도킹 시스템 운영, 크로스-도킹 네트워크 모델, 물류네트워크 설계 등이 있으나, 기존 물류네트워크 하에서 크로스-도킹 거점선정에 관한 연구는 미미한 실정이다.

3. 개발 방법론의 설계

3.1 문제의 정의

본 연구는 다단계 물류네트워크 환경에서 신규 물류거점의 추가 또는 기존 물류거점의 통폐합이 없는 환경에서 운송계획을 수립할 때 반영하여야 하는 주요 제약조건을 고려한다. 즉, 중앙집중 운송계획수립, 야간수송 허용여부, 동시 입·출고 dock 증설여부 등 크로스-도킹 추진을 위한 운영환경을 고려하면서, 최적의 크로스-도킹 거점을 선정하는 것이다.

본 절에서는 주요 제약조건, 크로스-도킹 거점선정기준, 크로스-도킹 추진 시 고려할 운영환경에 대하여 기술한다. 다음 <Figure 1>은 다단계 물류네트워크를 도식화한 것이다.

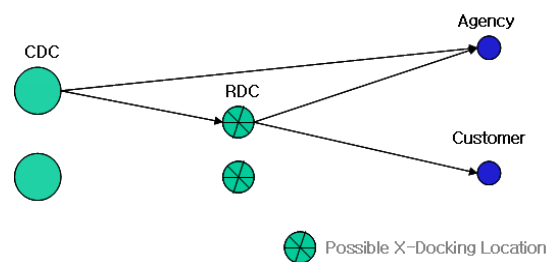


Figure 1. Multi-level logistics network.

위의 그림에서 CDC(Central Distribution Center)는 RDC(Regional Distribution Center)와 거래선에 물량을 공급하는 것을 말하며, RDC는 관할지역 내의 거래선과 고객에게 물량을 공급하는 곳으로 크로스-도킹의 후보거점이 될 수 있는 곳이다.

일반적으로 현실 세계에서 다단계 물류네트워크 환경에서 운송계획을 수립하면서 고려하는 일반적인 주요 제약조건은 다음과 같다.

Table 1. Selection criteria for cross-docking location

Selection Criteria	Definition
Cross-Docking Outbound Rate per Center (%)	<ul style="list-style-type: none"> (Cross-Docking Outbound Volume Per Center/ Total Outbound Volume Per Center) * 100 Cross-Docking Outbound Volume Per Center : The Volume transferred in a specific time(5 hours in this study) out of the total volume shipped to the final destination on the same day after receiving
Lead Time	<ul style="list-style-type: none"> When the Final Destination is a Customer or an Agency : From an order received to the shipping time at the final distribution center When the Final Destination is a Distribution Center : From an order received to the receiving time at the final distribution center Lead Time Per Center : The average lead time of the total order handled with RDC
The Outbound Volume of X-Docking that the Lead Time is Reduced More Than One Day	<ul style="list-style-type: none"> The outbound volume of each order that the lead time is reduced more than one day by applying the x-docking system Lead time analysis under the daily based scheduling system
Average Inventory Holding Days Per Day Per Product	<ul style="list-style-type: none"> Inventory Amount of Money Per Day / Average sales Amount of Money Per Day Inventory Amount of Money : Number of Inventory Per Day Per Product * Unit Price
Total Handling Costs Per Center	<ul style="list-style-type: none"> Labor Costs Per Center + Equipment Usage Costs Per Volume Per Center Cross-Docking Handling Costs : Cross-Docking Labor Costs + Cross-Docking Equipment Usage Costs Per Volume

- 차량단위의 적재를 최적화한다.
- 주문에 대하여 출하유형이 존재하여, 출하유형별로 별도의 차량을 사용한다.
- 특정 출하유형의 일부 제품은 혼적이 허용되지 않는다.
- 센터의 배송권역을 벗어난 다른 권역으로 물량이동은 허용되지 않는다.
- RDC 운송계획 대상 물량에 CDC로부터 입고 예정 물량을 포함하여 고려한다.
- 야간수송이 허용되는 시간대가 존재한다.
- 센터 유형별 출고 가능 시간대가 존재한다.
- 센터 유형별, 거래선에 입고 가능 시간대가 존재한다.
- 차종별 상하차 소요시간이 다르다.
- 거래선에 입고하여 다른 목적지로 출고되기 전까지의 소요시간을 고려한다.
- 거래선 간 이동소요시간을 고려한다.
- 일부 거래선은 입고되는 차종에 제한이 있다.
- 적재율이 높은 차량은 CDC에서 거래선으로의 직송이 허용된다.
- 입고와 출고가 주어진 시간 이내에 이루어져야 크로스-도킹 처리가 된다.
- 일부 제품만을 크로스-도킹의 대상으로 할 수 있다.

- CDC 차량의 센터 간 경유를 허용하지 않을 수 있다.
- CDC 간, RDC 간 물량 이동은 허용되지 않을 수 있다.
- DC별 보유차종에 제한이 있을 수 있다.

크로스-도킹 추진을 고려하는 기업은 크로스-도킹 추진효과를 극대화할 수 있는 프로세스, 인프라 등 운영환경의 변화를 고려하면서, 크로스-도킹 거점을 선정하여야 한다. 본 연구에서는 중앙집중 운송계획수립, 야간수송 허용여부 그리고 동시입·출고 dock의 증설여부 등의 운영환경을 고려할 것을 제안한다. 본 연구는 각 운영환경에 대하여 시나리오를 생성하고 시나리오 간에 비교를 하면서 크로스-도킹 거점을 선정한다.

크로스-도킹 거점을 선정할 때, 운송비, 재고유지비, 일반창고 보관하역비, 크로스-도킹 하역비 등 비용적인 측면, 리드타임 단축과 같은 고객서비스 측면 그리고 기타 정책적 측면을 고려한다. 본 연구에서는 현장에서 실제 적용할 수 있는 거점 선정기준을 <Table 1>과 같이 제안하고자 한다. 크로스-도킹을 시범 적용하고자 하는 기업의 입장에서는 제1선정기준으로 크로스-도킹 출고량 및 출고율, 제2선정기준으로 리드타임이 1일 이상 감소된 크로스-도킹 출고량 및 주문비율을 일단위 납기관리 체계하에서 사용할 것을 제안한다.

3.2 개발 방법론

기업들은 물류센터의 추가적인 증설을 고려하지 않으면서 단지 운영환경의 변화를 통하여 크로스-도킹 추진 시 효과를 검증하고자 한다. 따라서 앞에서 정의한 내용을 수리적으로 모델링하여 최적해를 구하는 것은 NP-hard(Garey and Johnson, 1979)이면서 NP-Complete(Lenstra and Kan, 1981) 문제에 속하기 때문에 최적해를 찾을 수 있는 해법이 있다 하더라도 단시간 내에 최적해를 구하는 것이 불가능하므로 이 해법을 현실에 적용하기 어려운 실정이다.

따라서 본 연구는 시뮬레이션 모델링을 통한 접근법을 제안한다. 시뮬레이션 모델링의 필요성은 다음과 같다. 첫째, 다단계 물류네트워크를 분석하기 위하여 현실을 가능한 한 그대로 반영한 모델에 의한 실험이 필요하다. 둘째, 크로스-도킹을 분석하기 위해서는 시간에 따라 변하는 물동량 분석이 필수적이다. 셋째, 다양한 시나리오를 생성하여 현행 물류네트워크와 크로스-도킹을 적용한 향후 물류네트워크를 동적으로 분석하여야 한다. 즉, 현실의 복잡한 물류네트워크를 반영하고 운영환경의 변화를 반영한 체계적인 단계적 접근방법이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 <Figure 2>와 같이 4단계로 구성된 기존 물류네트워크 환경하에서 크로스-도킹 거점을 선정하는 방법론을 제안한다.

먼저 1단계인 문제정의 단계에서는 연구범위를 명확히 하고, 제약조건과 크로스-도킹 선정기준을 정의한다. 예외적인 물류흐름은 문제에서 제외함으로써 문제를 단순화한다. 모델에 사용될 입력항목 및 자료를 정의한다.

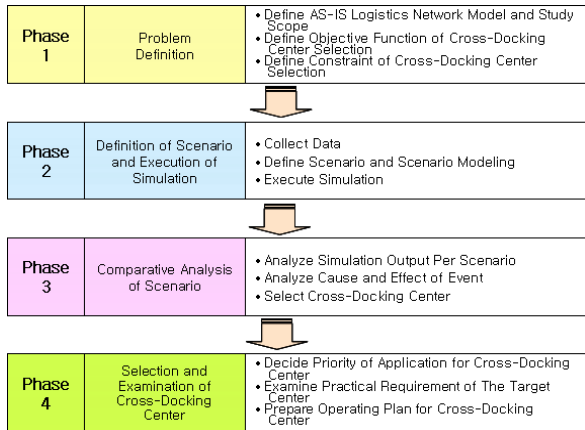


Figure 2. Development methodology.

2단계인 시나리오 정의 및 시뮬레이션 실행단계에서는 운영환경을 정의하고 각 운영환경에 대하여 시나리오를 생성한다. 본 연구에서 정의한 적용 시나리오는 <Table 2>와 같으며 다음과 같은 시뮬레이션 모델을 정의한다.

Table 2. Application scenario

Scenario	Transportation Planning Method	Application of Cross-Docking	Permission of Overnight Delivery	Number of Receiving and Shipping Docks Synchronized
1	Current	X	No	Current
2	Centralization	O	No	Current
3	Centralization	O	Yes	Current
4	Centralization	O	No	Maximum

3단계의 시나리오 비교분석단계에서는 운영환경 변화가 비용, 리드타임에 미치는 효과를 분석하여 원인을 규명한다. 각 시나리오별 거점별 시뮬레이션 효과를 분석한다.

마지막으로 4단계인 크로스-도킹 선정 및 검토단계에서는 크로스-도킹 선정기준을 기초로 하여 크로스-도킹 추진거점의 우선순위를 결정한다. 크로스-도킹 거점의 운영방안을 설계한다.

3.3 시뮬레이션 모델

여러 개의 CDC와 RDC 그리고 다수의 거래선으로 구성된 다단계 물류네트워크 모형을 대상으로 하는 본 연구의 시뮬레이터의 구성도는 <Figure 3>과 같다. 본 연구는 시뮬레이션을 수행하기 위해서 기간 시스템으로부터 입수하여야 할 입력 데이터는 주문정보, 제품정보, 비용정보(운송비, 일반창고 보관 하역비, 크로스-도킹 하역비, 재고유지비 등), 거점 간 거리정보, 센터정보 등이다. 다양한 조건을 수용하도록 정책변수를 파라미터 함으로써 다양한 분석이 가능하도록 설계한다. 임시

적치공간의 면적과 용적, CDC에서 거래선으로 직송이 허용되는 운송차량의 적재비율, 센터유형별 출고 가능 시간대, 센터유형별 거래선에 입고 가능 시간대, 야간수송이 허용되는 시간대, 거래선 간 평균 이동소요시간, RDC 재고보충시점 등을 정책 파라미터로 정의한다.

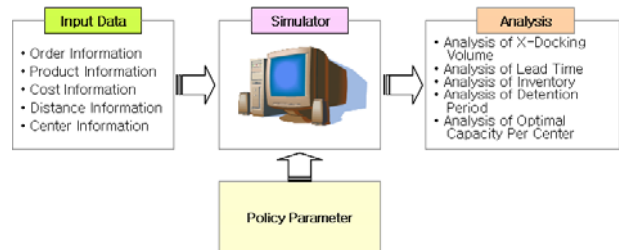


Figure 3. Structure of simulation.

제품코드, 수량, 도착지, 배달납기의 정보로 구성된 주문이 들어오면 중앙에서는 배송지 권역 센터의 재고 유무에 따라 CDC backorder 여부를 결정한다. 주문은 제품단위로 구별되며 배송지의 특성에 따라서 주문유형을 결정한다. 본 연구에서 고려한 기호와 주문유형은 <Table 3>과 같다.

Table 3. Definition of symbol and type of order

Symbol	Definition
C	CDC(Central Distribution Center)
R	RDC(Regional Distribution Center)
K	Customer : Ex) General Consumer
A	Agency : Ex) Agent, Discount Store
CA	Order Delivered To Agency From CDC (Direct Delivery)
CR	Order Delivered To RDC From CDC (Inventory Replenishment)
CRK	Order Delivered and Installed to Customer Passing RDC Starting in CDC
CRA	Order Delivered and Installed to Agency Passing RDC Starting in CDC
RA	Order Delivered To Agency From RDC
RK	Order Delivered and Installed to Customer From RDC

주문유형이 결정된 주문 중 만차가 되는 거래선 또는 특별히 취급되는 거래선의 주문은 CDC에서 직접 배송하도록 주문유형을 조정한다. 시뮬레이션 흐름도는 <Figure 4>와 같다.

CDC 운송계획 시뮬레이션 흐름도는 <Figure 5>와 같다. CDC 주문은 RDC에서 CDC로 backorder된 CRK, CRA 두 가지, 직송의 CA, 재고보충 CR 등 총 네 가지로 구분한다. CDC로 backorder된 두 가지 주문유형은 각 RDC로 수송되는 주문이며, 크로스-도킹 대상이 되는 주문은 센터의 크로스-도킹 가능 시간 테이블을 탐색하여 CDC에서의 출발 가능 시간을 결정한다. 주문유형과 출발 가능 시간이 결정된 주문들을 묶어 차량단위

로 배차한다. 배송되는 센터의 동시 입·출고 dock 수를 고려하여 배차가 결정된 주문의 크로스-도킹 여부를 확정한다.

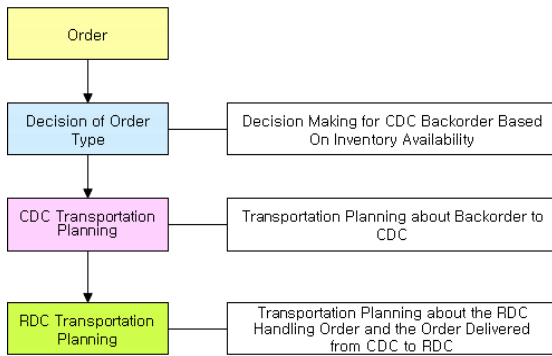


Figure 4. Simulation flow.

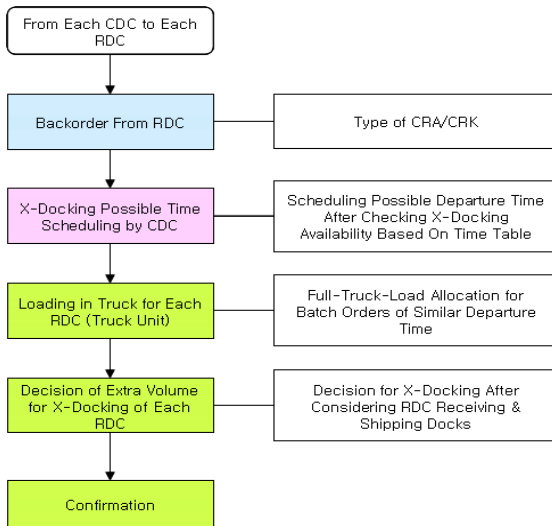


Figure 5. Simulation flow of CDC transportation planning.

해당 센터에서 입고와 출고가 주어진 특정시간 이내에 이루어져야 크로스-도킹 처리가 된다. 최종 도착지가 고객이나 거래선인 경우 주문처리가 완료되려면 해당센터에서 Time Table 상의 크로스-도킹 출고 가능 시간 내에 출고가 되어야 한다. 해당 센터에서의 출고시간이 X-Docking 출고 가능 시간 내에 있더라도 동시 입·출고 dock 부족으로 입고와 출고가 주어진 시간 이내에 이루어지지 않은 경우는 크로스-도킹이 불가능하다고 간주한다.

크로스-도킹에 영향을 주는 요소는 운송시간, 주문시간, 센터의 출고처리용량 등이 있다. 센터 간 또는 최종 배송센터와 배송지 간 운송시간이 오래 걸릴수록 크로스-도킹 가능 확률이 낮아진다. 예를 들어, 수원 CDC에서 대구 RDC를 경유하여 처리되는 주문의 경우 출발센터와 최종 배송센터 간 운송시간이 길기 때문에 해당 주문이 오전 일찍 운송되어야만 크로스-도킹 처리가 가능하다. 이 경우 수원 CDC의 오후 운송계획시간과 익일 오전 운송계획시간 사이에 접수된 주문만이 크로스-

-도킹 처리가 가능하다. 출발센터에서 크로스-도킹 출고 가능 시간 내에 출고하더라도 최종 배송센터의 용량부족으로 크로스-도킹 처리가 불가능할 수 있다.

RDC에서 출고되는 주문은 RDC의 재고로 배송이 가능한 주문(RK, RA)과 CDC에서 배송된 주문(CRA, CRK)으로 구분된다. 각 RDC에서는 CDC에서 입고되는 물량, CDC에서 입고되어 바로 크로스-도킹 되는 물량, RDC에서 출고되는 물량의 우선순위를 고려하여 출고시간을 결정한다. 출발 가능 시간이 비슷한 주문을 모아 차량단위를 만들어 차량을 할당한다. 또는 우편번호 등 지역을 고려하여 차량단위를 만들어 차량에 주문을 할당한다.

4. 실험

본 장에서는 현실을 반영한 실험데이터 및 주요 가정사항에 대하여 기술하고, 실험데이터에 대하여 본 연구에서 제안한 시뮬레이션 모델과 알고리즘을 적용한 결과를 제시한다. 크로스-도킹의 효과, 야간수송의 효과, 동시 입·출고 dock 수 증설의 효과 등을 분석하고, 본 연구에서 제시한 크로스-도킹 선정 기준에 따른 기존 물류네트워크 하에서 크로스-도킹 선정결과를 제시한다.

4.1 실험 데이터

본 연구에서는 3개의 CDC, 11개의 RDC, 3000개의 거래선을 대상으로 한다. 실험대상인 CDC, RDC의 기준정보는 <Table 4>와 같다.

Table 4. Standard information of CDC/RDC

Center	Truck Availability		Loading & Unloading Space(m ²)		Temporary Storage(m ²)	
	Shipping	Receiving	Loading Space	Unloading Space	Loading & Unloading Space*75%	
CDC	가	21	7	-	-	
	나	9	5	-	-	
	다	4	3	-	-	
RDC	A	38	4	165.3	231.4	297.5
	B	25	2	1039.1	185.1	918.2
	C	22	3	720.3	146.1	649.8
	D	10	3	264.5		198.3
	E	8	1	50.0	30	60.0
	F	28	2	380.0	100	360.0
	G	4	1	36.0		27.0
	H	7	2	109.1		81.8
	I	56	5	936.0	468	1053.0
	J	22	2	1000.0		750.0
	K	23	6	335.0	335	502.5

2004년 9월~12월까지의 기업에서 사용하는 실 수주 데이터와 3000여 개의 제품을 대상으로 한다. 제품단위의 주문은 분리하지 않고 일괄 납품하며, 출고 데이터를 기준으로 수요를 고려하기 때문에 CDC에서의 back order는 없다고 가정한다. RDC 재고보충시점은 발주일에서 D+5일 이내로 한다. 창고보관 공간과 차량대기 장소는 충분하다고 가정한다. 일요일과 공휴일 출고는 분석에서 제외한다.

센터별 재고유지비용은 일 평균 재고금액*일 평균 재고일수*0.06(년 재고금리)/365로 설정한다. 리드타임, 하역비, 반출가 등 선정기준에 필요한 항목은 기간 시스템으로부터 산출한다. <Table 5>는 회사의 표준 하역인건비와 장비사용료에 기반한 RDC별 하역비를 나타낸다.

Table 5. RDC handling costs

RDC	Handling Costs Per Volume With X-Docking(Won)	Handling Costs Per Volume Without X-Docking(Won)
A	1688.9	3048.4
B	1182.2	2355.9
C	2638.7	4919.0
D	1549.3	2661.9
E	1575.1	2910.3
F	1125.1	2054.3
G	1725.2	2950.3
H	873.3	1726.5
I	1560.8	2925.1
J	1501.2	2908.0
K	1059.3	1891.4

4.2 실험방법

C 언어를 사용하여 알고리즘을 구현하였으며, 실험 데이터 및 정책 파라미터는 외부 파일 시스템으로 저장한다. 운영환경에 따른 분석하고자 하는 4가지 시나리오 <Table 2>를 정의한다. 시나리오별 운영환경을 정책 파라미터 파일에 저장하고 시나리오별 시뮬레이션을 수행한다. RDC, CDC의 기준정보 및 비용정보를 근거로 계산된 시뮬레이션 수행결과는 시나리오별 각 DC별로 X-Docking 처리비용, 리드 타임, 하역비, 재고금액 형태로 저장한다. 이러한 결과를 바탕으로 각 시나리오 및 크로스-도킹 후보 RDC를 비교한다.

4.3 분석결과

<Table 6, 7, 8>은 실험대상인 3개의 CDC, 11개의 RDC의 크로스-도킹 효과를 합계한 시나리오 간 비교결과이다. <Table 6>에서 시나리오 2는 시나리오 1의 환경에서 중앙집중 운송계획을 통하여 크로스-도킹을 추진한 경우이다. RDC 출고량 중 40% 이상이 크로스-도킹으로 처리될 수 있음을 보여 주고 있다. 실험결과는 물량이 크로스-도킹으로 처리됨으로써 리드타임 단축, 하역비 절감, 재고일수 단축의 효과가 있음을 보여 주고 있다.

중앙집중 운송계획 수립 및 크로스-도킹 환경에서 야간수송을 허용할 경우의 효과는 <Table 7>과 같다. 시나리오 3은 시나리오 2의 환경에서 야간수송을 허용한 경우이다. 전 센터에서 리드타임, 재고일수가 크게 감소된다. 근거리보다 원거리에서 리드타임 단축효과와 재고감소효과가 크게 나타난다. 야간수송 적용 시 오전 운송계획 시간 이전에 물량이 입고되면 오전에 크로스-도킹이 가능해지므로 크로스-도킹 효과가 극대

Table 6. Compare of scenario 1 and scenario 2 (reduction rate by contrast with scenario 1)

Comparison Target	RDC Outbound Volume (m)	X-Docking		Lead Time		Handling Costs		Inventory Holding Days		Inventory Amount of Money	
		Volume	Ratio (%)	Ave	Reduction Rate (%)	Costs	Reduction Rate (%)	Days	Reduction Rate (%)	Costs	Reduction Rate(%)
Scenario 1	4,880.0	-	-	20.0	-	14.8	-	2.9	-	32,458.0	-
Scenario 2	5,551.2	2,630.7	47.4	19.1	4.8	13.3	9.7	2.4	17.6	30,253.7	6.8

Table 7. Compare of scenario 2 and scenario 3 (reduction rate by contrast with scenario 2)

Comparison Target	RDC Outbound Volume (m)	X-Docking		Lead Time		Handling Costs		Inventory Holding Days		Inventory Amount of Money	
		Volume	Ratio (%)	Ave	Reduction Rate (%)	Costs	Reduction Rate (%)	Days	Reduction Rate (%)	Costs	Reduction Rate(%)
Scenario 2	5,551.2	2,630.7	47.4	19.1	-	13.3	-	2.4	-	30,253.7	-
Scenario 3	5,452.8	3230.7	59.2	15.7	17.6	12.1	9.2	2.1	13.7	22,198.5	26.6

화된다. 야간이나 새벽 시간대에 입·출고를 할 수 있으므로 물량을 분산시켜 센터의 용량증설 효과도 나타난다.

중앙집중 운송계획 수립 및 크로스-도킹 환경에서 동시 입·출고 dock 수 제약이 없는 경우의 효과는 <Table 8>과 같다. 시나리오 4은 시나리오 2의 환경에서 동시 입·출고 dock 수 제약이 없는 경우이다. 시나리오 4는 입·출고 dock 부족으로 인한 배송 지연을 예방하여 크로스-도킹 출고량 증가와 리드타임 감소에 기여한다. 입·출고 dock 수가 충분한 센터는 효과가 미미하다.

실험결과인 <Table 6, 7, 8>에 따르면, 시나리오 3(야간수송 허용), 시나리오 4(동시 입·출고 dock 수 완화), 시나리오 2 순으로 크로스-도킹 효과가 나타났다. 특히, 시나리오 3(야간수송 허용)은 야간수송이 크로스-도킹 효과가 가장 크고 시설확충 등의 추가비용이 필요하지 않기 때문에, 시스템의 운영변경방안을 적극 검토할 필요성을 시사한다.

<Table 9>는 시나리오 3의 환경에서 실험대상인 11개 후보 RDC의 크로스-도킹 효과를 보여준다. <Table 1>의 크로스-도킹 선정기준에 근거하여 크로스-도킹 거점을 선정할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 기존 물류네트워크 하에서 크로스-도킹 거점

을 선정하는 방안을 제시하였다. 이를 위하여 다단계 물류네트워크 환경에서 운송계획을 수립하면서 고려하는 주요 제약 조건과 목적함수를 서술하고, 현장에 적용 가능한 크로스-도킹 거점선정문제를 정의하였다. 또한 크로스-도킹 거점을 선정하는 방법론과 시간에 따라 변하는 크로스-도킹 물동량을 다양하게 분석할 수 있는 시뮬레이션 모델을 정의하였으며, 시뮬레이션 모델에서는 입력 데이터, 정책 파라미터, 크로스-도킹의 판단 기준, 크로스-도킹 처리에 영향을 주는 요소 및 알고리즘도 제시하였다. 이러한 방법론을 기반으로 현장의 실험데이터를 대상으로 시뮬레이션을 수행한 후, 시나리오 간 분석을 통하여 크로스-도킹의 효과, 야간수송의 효과, 동시 입·출고 dock 수 증설의 효과 등을 분석하였다.

실험결과 크로스-도킹 효과는 시나리오 3(야간수송 허용), 시나리오 4(동시 입·출고 dock 수 완화), 시나리오 2 순으로 나타났다. 특히, 야간수송이 시설확충 등의 추가비용이 필요하지 않으므로 시스템의 운영변경방안을 적극 검토할 필요가 있었다. 또한 실험결과는 RDC 출고량 중 40% 이상이 크로스-도킹으로 처리될 수 있음을 보여 주고 있다. 최적의 시나리오 환경에서 크로스-도킹 선정기준에 근거하여 크로스-도킹 거점을 선정할 수 있다. 이러한 크로스-도킹으로 처리물량의 증가는 리드타임을 단축함으로써 고객 서비스를 향상시키고, 재고량 축소를 통하여 재고비용을 절감하고, 창고의 보관하역 작

Table 8. Compare of scenario 2 and scenario 4 (reduction rate by contrast with scenario 2)

Comparison Target	RDC Outbound Volume (m)	X-Docking		Lead Time		Handling Costs		Inventory Holding Days		Inventory Amount of Money	
		Volume	Ratio (%)	Ave	Reduction Rate (%)	Costs	Reduction Rate (%)	Days	Reduction Rate (%)	Costs	Reduction Rate(%)
Scenario 2	5,551.2	2,630.7	47.4	19.1	-	13.3	-	2.4	-	30,253.7	-
Scenario 4	5,586.5	2,806.1	50.2	18.4	3.8	13.2	12	2.4	15	29,838.5	1.4

Table 9. Cross-docking effect of 10 target rdc's under the condition of scenario 3

RDC	X-Docking		Lead Time	Handling Costs		Inventory Holding Days	Inventory Amount of Money
	Volume	Ratio (%)		Handling Costs	X-Docking Handling Costs		
A	845.9	53.9	15.4	1,959.10	769.8	2.3	4,900.90
B	705.2	54.7	15.4	1,208.80	455.9	2.2	4,793.10
C	868.6	66.1	16.5	2,964.10	1,514.10	1.1	2,088.70
D	190.7	61.8	15.9	376.5	182.5	1.7	684.8
E	76.8	59.7	16.5	162.3	72.2	1.6	241.7
F	443.1	53.4	15.7	690.5	266.2	1.5	1,393.90
G	164.1	54.4	17.9	374.8	154	1.8	707.9
H	311.8	52.8	16.7	398	143.7	1.6	1,225.40
I	510.5	46.1	15.7	1,172.20	367.3	2.1	2,603.60
J	645.5	55.3	18.1	1,375.10	535.7	1.4	2,329.90
K	280.7	56.8	16.8	398.2	168.9	2.1	1,228.70

업의 제거를 통하여 하역비 절감 및 제품파손을 최소화할 수 있다.

본 연구는 운송계획을 수립하면서 고려하는 현실적인 제약 조건 및 비용요소를 감안하였다. 다양한 시나리오에 대하여 비용요소와 정책 파라미터를 외부 파일 시스템으로 분리하였기 때문에, 자사의 환경 변화 및 타 기업에 적용이 가능하리라 판단된다.

참고문헌

Park, S. J. (2002), Study on decision of capacity and the number of hub in home delivery industry, *Graduate school of Korea university*.

Donaldson, H., E. L. Johnson, H. D. Ratliff, and M. Zhang (1998), Network Design for Schedule-Driven Cross-Docking Systems, *Georgia Tech TLI Report*.
 Garey, M. R. and D. S. Johnson (1979), Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness, *Freeman*, San Francisco.
 Hasan, P. and V. Jayaraman (1998), A multi-commodity, multi-plant, capacitated facility location problem: Formulation and efficient heuristic solution, *Computers Ops Res*, 25, 869-878.
 Lenstra, J. K. and A. H. G. R. Kan(1981), On General Routing Problems, *Networks*, 6, 273-280.
 Maida, N. and the staff at Gross & Associates (2000), Making the Move to Cross-Docking, *WERC*, USA.
 Ratliff, D., J. V. Vate, and M. Zhang (2000), Network Design for Load-driven Cross-Docking Systems, *TLI web*.
 Yu, W. (2002), Operational Strategies for Cross Docking Systems, *PhD dissertation*, Iowa State University.



이 인 철
 아주대학교 산업공학과 학사
 아주대학교 산업공학과 석사
 아주대학교 산업공학과 박사과정 수료
 현재: 삼성전자 로지텍 수석부장
 관심분야: Logistics, SCM, Scheduling



김 내 현
 서울대학교 수학과 학사
 서울대학교 수학과 석사
 University of Texas at Austin
 산업공학과 박사
 현재: 아주대학교 산업정보시스템학부 교수
 관심분야: 물류정보 시스템, Genetic Algorithm, 최적화 이론



이 명 호
 아주대학교 산업공학과 학사
 아주대학교 산업공학과 석사
 아주대학교 산업공학과 박사
 현재: 세명대학교 전자상거래학과 조교수
 관심분야: 물류정보 시스템, 모니터링 시스템, WAS 프로그래밍