

제 4자 물류환경에서 물류센터의 재고정책 선택에 관한 연구

A study of inventory policy selection in fourth party logistics environment

이수권, 김기범, 정봉주
연세대학교 산업시스템공학과
leesookwon@hanmail.net

Abstract

공급사슬의 구조가 복잡해지고 고객의 수요가 다양해지면서 공급사슬에서의 물류기능은 점점 중요시 되고 있다. 지금까지의 생산자는 전체 물류의 60% 이상을 제 3자 물류 업체를 통하여 수행하였다. 그러나 최근 대두되고 있는 제 4자 물류환경에서는 물류센터가 물류컨설팅기능까지 수행함으로써 더 효율적인 물류를 수행하는 것을 목표로 한다. 이러한 환경에서 공급사슬 내의 물류센터는 단순히 제품의 배송 및 보관, 조달 업무를 수행하는 단계로서의 역할이 아닌 독립적으로 이윤을 추구하는 기업의 형태로 존재하게 된다.

따라서 제 4자 물류환경에서의 물류센터는 제품의 다양한 특성 및 수요의 패턴에 따라 효율적인 재고정책 선택과정이 필요하다. 그러나 기존의 연구에서 제시하고 있는 재고정책을 현실에 적용하기에는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 제 4자 물류 환경에서의 물류센터 시스템 구조와 다양한 제품특성 및 물류환경을 고려한 재고정책 선택모형을 제시한다. 수치예제를 통해 제안한 모델의 타당성 및 제 4자 물류시스템의 기대효과를 제시한다.

1. 서론

공급사슬에서 물류센터는 생산자와 고객간의 중간 매개체로 제품을 보관, 배송하는 역할을 수행한다. 고객에게 제공할 제품들을 생산자가 대량으로 물류센터에 보내기 때문에 물류센터는 외부수송에서 규모의 경제를 실현할 수 있다. 기존 물류는 배송과 보관, 조달 업무를 활동 단위로 하고 있었지만, 최근 제 3자 물류 업체를 통한 물류비용 절감효과가 입증되면서 물류 아웃소싱이 확대되고 있다. 제 3자 물류 업체는 공급사슬의 독립적인 개체로 물류상의 문제점을 해결하고 스스로 이익을 추구함으로써 생산자와 보완적 관계를 성립하고 있다.

제 3자 물류와 물류 아웃소싱의 차이점들이 다소 모호하고 주관적이라는 이유 때문에 관련업계에서는 단순히 제 1자 물류(자가

물류), 제 2자 물류(자회사물류), 제 3자 물류(물류 아웃소싱)의 분류체계에 근거하여 물류 아웃소싱을 제 3자 물류로 간주하기도 한다. 하지만 제 3자 물류는 하주기업이 고객서비스 향상, 물류비용 절감 등 물류활동을 효율화할 수 있도록 공급사슬 기능의 전체 혹은 일부를 대행하여 수행하는 업종으로 정의할 수 있다.

현실적으로 대부분의 생산자들이 아직까지 해당기업의 물류관리에 충분한 서비스를 제공하지 못하고 있으며, 아웃소싱 또한 비용절감에만 초점을 두고 있다. 최근 대두되고 있는 공급사슬관리의 초점에 맞추어 이러한 현실을 극복하고 전체적인 개선을 위하여 제 4자 물류로의 전환이 필요하다.

제 4자 물류는 제 3자 물류역할을 수행하는 물류업체에 공급사슬구조의 전체적 개선을 위한 물류컨설팅 기능을 추가시켜 더 효율적인 물류를 수행하는 것을 목표로 한다. 제 3자 물류 환경은 기존의 생산자가 직접 고객의 주문을 받아 배송이 이루어졌다. 이러한 3자 물류 환경은 제 4자 물류환경이 되면서 물류업체가 직접 고객의 주문을 받아 배송이 이루어지고 생산자는 물류업체의 주문을 받아 생산하는 환경으로 전환된다. 따라서 제 4자 물류환경에서 물류센터의 효율적인 재고관리는 중요한 문제이다. 본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존 연구 현황을 소개하며 이를 바탕으로 3장에서는 제 4자 물류시스템의 구조를 제시한다. 또한 4장에서는 제 4자 물류 시스템 구조를 반영한 효율적인 재고선택 방법에 대한 해법을 제시하며 5장에서 수치예제 및 결과를 분석한다. 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구과제를 소개한다.

2. 기존 연구 현황

공급사슬에서의 재고정책에 관한 연구는 크게 고객 수요에 대한 생산자의 생산계획에 초점이 맞추어져 있었다. 재고정책에 대한 연구의 기본적인 목표는 재고 비용의 최소화이다. 고려되는 비용 요소는 주로 제품의 주문과 판

련된 비용인 제품운송 비용 및 발주 비용과 제품 보관에 관련된 재고 유지 비용이 있으며 고객 서비스와 관련된 품질 비용이 있다. 수요의 형태는 확정적 수요형태와 확률적 수요 형태로 분류되고 시간에 따라 긴급 주문의 존재 여부에 안정적 형태와 유동적 형태로 분류된다. 또한 제품 공급에 대한 형태는 리드타임의 존재 여부와 가격 및 유효기간의 존재 여부에 따라서 분류된다. 비용 최소화 관점의 재고비용과 관련하여 Cachon과 Zipkin[2]은 계층 재고 게임과 부분 재고 게임의 비교 분석을 통하여 공급사슬의 재고 비용을 최소화하기 위한 방법을 연구하였다. 이 연구는 공급자는 부분 재고를 더 선호하는 경향이 존재하지만 소매점의 경우는 주어진 매개 변수에 따라 그 경향이 달라지고 있음을 소개하고 있다. 재고정책에 대한 관련연구로 Ganesham[3]은 여러 개의 공급자, 하나의 물류센터, 여러 개의 소매점으로 구성된 공급사슬환경을 대상으로 최적에 근접한 (s, Q) 정책을 제시하였다. 이 연구는 구성된 공급사슬에 대하여 서비스수준을 고려하였으며, 분석적인 방법에 의하여 구한 해를 시뮬레이션 모델에 적용시켜 시뮬레이션 결과와 비교하여 오차비율을 산출하였다. 또한 김우주[5]는 기존에 연구되어 왔던 재고 시스템에서 재고 상태를 손쉽게 파악하기 위하여 정보시스템을 도입하였다. 이를 바탕으로 재주문점은 각 제품의 리드타임에 대한 안전재고를 이용하여 시간이 지남에 따라 해당 제품에 대한 수요 예측 결과를 반영함으로써 재주문점의 동적인 변화를 가능하게 하였다. 목표 재고량은 제품의 수요 예측치, 안전 재고, 표준 재고 회전 주기 등을 이용하여 산출하였다. 산출된 목표 재고량을 통하여 동적으로 재주문점 s 와 재발주량 결정 요인인 S 를 조정하는 (s^*, S^*) 정책을 제시하고 이를 대규모 유통업의 재고 시스템에 적용하여 그 효과를 검증하였다.

한편 물류센터에 관한 기존 연구는 크게 물류센터의 개념적인 형태 분류에 관한 연구와 계획과 운영상의 제어에 관한 연구로 분류되어 진행되었다. 물류센터 형태에 관한 연구로 Ashayeri와 Gelders[1]은 시뮬레이션을 통한 분석적 접근방법을 사용하여 물류센터 제품 보관에 관련된 제품 보관량과 제품 도착 시점에 따른 재고관리 모델을 제시하였고, 운영상 제어에 관련된 연구로 Gray와 Kamarker[4]는 물류센터의 주문 통합에 대해서 물류센터 운영에 관한 연구와 모델을 제시했다. 물류센터 운영에 관한 주된 연구는 하나 또는 다수의 물류센터와 다수의 소매상이 존재하는 환경에서 진행되었으며 제품의 중간 거점으로써 물류센터 내

의 여러 가지 운영적 측면을 고려한 입·출고의 성능 및 제품의 위치 설정에 초점을 두었다. 또한 생산자의 생산을 고려한 생산·분배계획에 관한 연구가 진행되었다. 그러나 이러한 연구는 생산자가 고객의 주문을 받아 고객에게 제품을 배송하는데 초점을 맞추었기 때문에 물류센터의 재고정책은 고려하지 못하였다.

이러한 연구들은 물류센터와 고객 사이의 여러 가지 환경을 가정하여 이루어졌다. 따라서 여러 가지 제품 특성이 존재하고 급변하는 물류센터의 환경에 기존 연구의 특정 재고정책을 적용함에 있어 한계가 있다.

제 3자 물류에서 제 4자 물류로 전환함에 따라 물류센터는 일반적인 제품의 배송 및 보관, 조달 장소로서의 역할이 아닌 독립적으로 이윤을 추구하는 개체로 존재한다. 지금까지의 연구는 제 4자 물류에 대한 개념 및 구조에 대한 필요성만을 제시함으로써 구체적인 연구가 진행되지 않은 상태이다. 또한 기존의 재고정책들을 제 4자 물류환경의 물류센터에 적용하기 위해서 특정의 재고정책을 결정하여 유지하기 보다는 각 시점의 물류센터의 환경에 적합한 여러 재고정책을 선별하여 적용하는 과정이 필요하다.

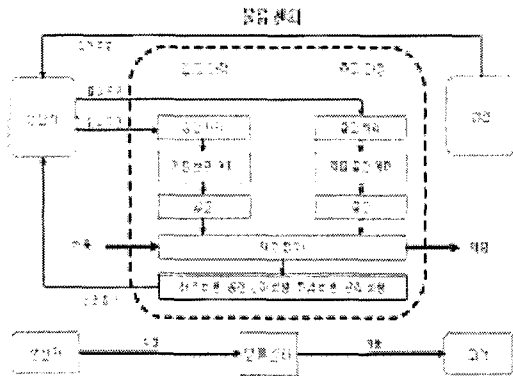
이에 본 연구에서는 제 4자 물류환경에서의 물류시스템 구조를 제시하고 기존의 재고정책에 대한 분석을 바탕으로 물류센터의 제 4자 물류환경에 적합한 재고정책을 선별하는 시뮬레이션 모델을 제시한다.

3. 제 4자 물류시스템

본 연구에서 제시한 제 4자 물류시스템 구조는 물류시스템 구조 및 생산자와 고객 사이의 주문 과정에서 제 3자 물류시스템과 차이가 있다. 제 3자 물류 환경은 고객이 생산자에게 직접 주문하지만 제 4자 물류환경에서는 고객이 제 4자 물류업체에 주문을 하게 되고 이에 따라 물류센터의 프로세스는 생산자 중심에서 고객중심으로 전환된다.

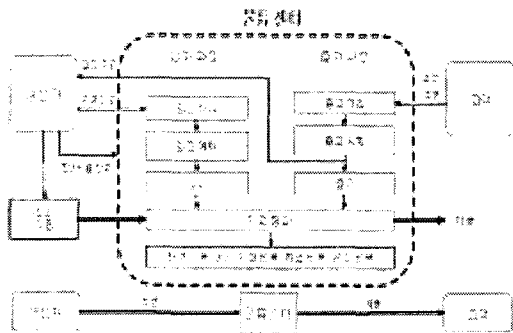
3.1 제 4자 물류시스템 구조

기존의 제 3자 물류시스템 구조는 그림 1과 같다. 고객의 주문을 받은 생산자는 제품을 생산하고 생산된 제품에 대한 입고주문을 제 3자 물류업체에게 전달한다. 제 3자 물류업체는 입고 주문에 따라 제품을 수송하여 입고하게 되며 생산자로부터 출고 주문을 받게 될 경우 출고하여 고객에게 배송한다. 제 3자 물류업체는 수송비용, 배송비용, 보관비용, 하역비용, 취급비용을 계산하여 생산자에게 청구한다.



<그림 1> 제 3자 물류시스템 구조

반면 제 4자 물류시스템 구조는 그림2와 같다. 고객은 제 3자 물류환경에서와 다르게 생산자에게 주문하지 않고 제 4자 물류업체에게 직접 주문한다. 제 4자 물류 업체는 물류센터 내의 재고를 대상으로 고객에게 배송하며 부족한 재고량을 재고정책에 따라 생산자에게 주문한다. 또한 생산자는 제 4자 물류업체의 주문을 받아 생산하며 제품비용을 제 4자 물류 업체에게 청구한다.

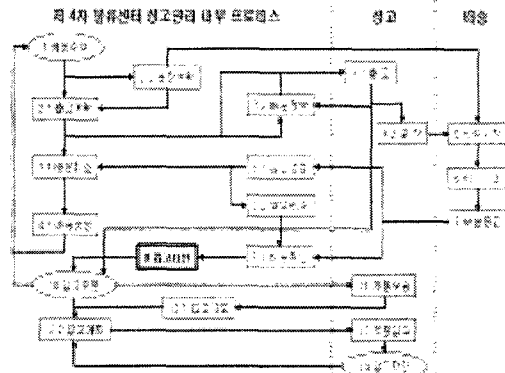


<그림 2> 제 4자 물류시스템 구조

결국 생산자는 고객의 수요 형태에 대한 생산계획 및 생산시간과 제품의 수·배송에 필요한 리드타임에 관계 없이 제 4자 물류업체의 주문에 따라 제품을 생산한다. 제 4자 물류 업체는 제품 생산에 필요한 생산기간과 수송기간을 고려하여 고객 수요에 대응 재고정책을 적용하게 되며 고객에게 판매한 매출에서 생산자가 청구한 제품가격과의 차이로 이윤을 산출한다. 그림2에서 제시한 제4자 물류시스템 구조는 그림1의 제 3자 물류시스템 구조와 비교하였을 때 물류센터 내부의 업무 프로세스에서 차이를 볼 수 있다.

3.2 제 4자 물류시스템의 물류센터 프로세스

그림3과 표1은 제 4자 물류센터의 창고관리 프로세스를 나타낸 것이다. 기본적인 내부 프로세스 흐름은 제 4자 물류업체가 고객 주문을 받아 배송 프로세스를 거쳐 고객에게 배송이 이루어지고 배송과정 중 창고 하역 프로세스가 진행되면서 재고 파악과 입고요청 결정을 하게 된다.



<그림 3> 제 4자 물류시스템의 물류센터 프로세스 흐름도

<표 1> 제 4자 물류시스템의 물류센터 프로세스

프로세스	내용
1 배송주문	고객 주문 접수
2.1 출고계획	창고 내 제품 출고 계획
2.2 포장계획	운송 단위 별 제품포장계획
3.1 배송취소	제품 재고 부재 시 취소
3.2 배송정보	주문에 따른 배송 정보 전달
3.3 출고	창고에서 제품 출고
4.1 배송생성	배송취소 시 새 배송주문 생성
4.2 포장	운송 단위로 제품 포장
5 배송시작	배송정보 전달
6 배송	고객에게 제품 배송
7 배송종료	배송 수단 창고 도착
8.1 배송확인	배송된 제품 확인
8.2 부분배송	제품부분 부분배송계획
8.3 입고생성	배송 실패 시 입고주문 생성
9 입고전달	재고량에 따른 입고 요청
10 입고주문	입고주문을 생산자에게 전달
11 제품수송	생산자 제품 수송
12.1 입고정보	수송된 제품의 입고정보 전달
12.2 입고계획	창고 제품 입고 계획
13 제품입고	창고에 제품 입고
14 입고확인	제품 입고 정보 전달

3.3 제 4자 물류시스템의 기대효과

앞서 제시된 제 3자 물류시스템과 제 4자 물류시스템 구조의 차이를 표2와 같이 주문, 생산자 그리고 물류업체로 구분하여 나타내었다.

<표 2> 제 3자 물류시스템과 제 4자 물류시스템의 비교

	제 3자 물류시스템	제 4자 물류시스템
주문	생산자 : 배송주문	제 4자 물류업체 : 제품 주문
생산자	고객 수요에 따른 생산계획	제 4자 물류 업체의 주문에 대한 일괄생산
물류업체	생산자 주문에 의한 입·출고 계획 및 수·배송계획	고객 수요에 대한 재고정책

표2와 관련하여 기존의 제 3자 물류환경이 제 4자 물류환경으로의 전환에서 기대되는 효과를 정리하면 표3과 같다.

<표 3> 제 4자 물류시스템의 기대효과

	4자 물류시스템의 기대효과
생산자	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 물류센터 주문의 의한 일괄생산 ▪ 고객수요에 대한 재고비용 감소 ▪ 고객 접촉에 필요한 업무 감소 ▪ 물류비용 감소 ▪ 전략적 마케팅 가능
물류업체	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 재고정책에 의한 재고비용 감소 ▪ 통합 수·배송에 의한 물류비용 감소
고객	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 배송단계 축소로 인한 서비스 향상

4. 물류센터 재고정책 선택 모델

본 장에서는 제 4자 물류 환경에서 물류센터 재고정책 선택 모델을 제시한다. 재고정책 선택 모델은 물류센터 비용 산출, 주문량 결정, 주문량과 창고용적을 고려한 수량 할당 그리고 주문량 조절방법의 세부 모델로 구성되어 있다. 재고정책 시뮬레이션 모델에서는 위 세부모델을 이용한 재고정책 선택과정 제시하였다.

4.1 물류센터 비용 산출 모델

본 연구에서 고려하는 제 4자 물류환경은 다음과 같다. 고객 주문을 받은 제 4자 물류업체는 재고로 가지고 있는 재고량을 확인하고 창고에 제품 출고주문을 하며 출고된 제품을 고객에게 배송한다. 창고의 재고관리는 출고된 제품량을 고려하여 수행 된다. 또한 재고정책에 따라 재고수준이 재주문점 이하이면 생산자에게 제품 입고주문을 하게 된다. 이러한 프로세스를 고려한 물류센터 비용관련 요인은 다음과 같이 네 부분으로 구분할 수 있다.

- 주문 비용 : 수송비용과 고정주문비용
- 보관 비용 : 제품의 창고보관비용
- 제품 제반 비용 : 제품 가치비용

▪ 하역 제반 비용 : 창고의 제품 입·출고비용
주문 비용은 제품 수송비용을 포함한 주문에 관련된 비용요인들을 포함하였다. 수송비용은 재고정책에 따라 생산자에 대한 입고주문이 발생하고 생산자에서 물류센터로 제품 수송이 이루어질 경우 한번의 수송비용이 존재한다고 가정하였다. 또한 보관비용은 제품을 창고에 보관하는데 필요한 비용으로 제품에 따른 창고 보관비용과 제품량과 관계없이 창고운영기간에 따라 창고유지에 필요한 비용을 고려하여 산출하였다. 제품 제반 비용의 경우는 제품을 창고에 보관하고 있는 기간이 경과함에 따라 가치 하락이 발생하고 제품가격에 대한 자본이 투자 비용을 고려하여 산출하였다. 제품의 입·출고는 제품이 생산자에서 물류센터로 수송될 경우와 고객의 수요에 대한 제품 출고 과정에서 발생한다. 이에 대한 하역 비용은 제품 입·출고 시 필요한 비용으로 가정하여 산출하였다.

기호 및 인덱스

- i : 제품 인덱스, $i=1, \dots, I$
- k : 기간 인덱스, $k=1, \dots, K$
- j : 고객 수요발생 인덱스, $j=1, \dots, J$
- p : 입고 주문 인덱스, $p=1, \dots, P$
- TR : 운송단위 비용
- A : 고정주문 비용
- WC : 단위 시간당 창고 고정운영 비용
- H_i : 제품 i 에 대한 단위 보관 비용
- UD_i : 제품 i 에 대한 하역 비용
- UV_i : 제품 i 에 대한 가치 비용
- B_{ik} : 제품 i 에 대한 시점 k 에서 재고 부족량
- BC_i : 제품 i 에 대한 재고 부족 비용
- IL_{ik} : 제품 i 에 대한 시점 k 에서 재고수준
- D_{ik} : 제품 i 에 대한 시점 k 에서 고객 주문량
- TC_{ik} : 제품 i 에 대한 K 기간 동안 물류 센터 비용

k 시점에서 제품 i 에 대한 재고 수준은 $k-1$ 시점의 재고수준과 리드타임을 고려한 주문량을 더하고 고객 수요량을 빼면 식(1)과 같다.

$$IL_{ik} = IL_{i,k-1} + Q_{i,TR} - \sum_{k'=j}^{i+L_{ik}} D_{ik'} \quad (1)$$

제품 i 에 대한 물류센터의 비용은 앞에서 설명한 주문 비용, 보관 비용, 제품 제반 비용, 하역 제반 비용을 합한 것이다.

$$TC_{ik} = P(TR + A) + \sum_{k=1}^K IL_{ik} UV_i + \sum_{k=1}^K D_{ik} UD_i + \sum_{k=1}^K IL_{ik} H_i + KWC + \sum_{k=1}^K B_{ik} BC_i \quad (2)$$

식(2)를 정리하면 식(3)과 같다.

$$TC_{ik} = P(TR + A) + KWC + \sum_{k=1}^K \{IL_{ik}(UV_i + H_i) + D_{ik}UD_i + B_{ik}BC_i\} \quad (3)$$

4.2 주문량, 안전재고, 재주문점 결정 모델

주문량 결정 방법은 각 기간 k 와 수요 발생 j 번째 시점에서의 고객에 대한 수요량을 고려하고 창고의 제품보관 비용과 주문에 따른 비용을 비교하여 생산자 입고주문시점과 주문량을 결정하게 된다.

기호 및 인덱스

- t : 기간 인덱스, $t=1, \dots, T$
- TI_{ip} : 제품 i 에 대한 p 번째 입고주문 시점
- TO_{ij} : 제품 i 에 대한 j 번째 수요주문 시점
- CH_p : 제품 i 에 대한 p 번째 창고보관 비용
- CA_p : 제품 i 에 대한 p 번째 주문비용
- Q_{ip} : 제품 i 에 대한 p 번째 입고주문량
- LT_i : 제품 i 에 대한 리드타임
- Z_i : 제품 i 에 대한 안전계수
- D_{iLT_i} : 제품 i 에 대한 리드타임 LT_i 동안의 고객 주문량
- ss_{ik} : 제품 i 에 대한 시점 k 에서 안전재고
- RO_{ik} : 제품 i 에 대한 시점 k 에서 재주문점

CH_p 와 CA_p 는 창고보관 비용과 주문비용을 나타내고 있으며 식(4)와 식(5)와 같이 산출된다.

$$CH_{ip} = (TO_{ij} - TO_{ij-1}) \{D_{iTO_{ij}} H_i UV_i + B_{iTO_{ij}} BC_i + WC\} \quad (4)$$

$$CA_p = TR + A + (TO_{ij} - TO_{ij-1}) D_{iTO_{ij}} UD_i \quad (5)$$

$$Q_{ip} = \sum_{k=TO_{ij}}^{TO_{ij+1}} D_{ik} \quad (6)$$

주문량 결정 절차

Step 0. $j=1, p=1, t=1, TCH_w=0$

Step 1. CH_p 와 CA_p 계산
 $TCH_k = TCH_{k-1} + CH_p$

Step 2. $TCH_k \geq CA_p$ 이면

: Q_{ip}, ss_{ip}, RO_{ip} 계산

: $TI_{ip} = TO_{ij+t}$

: $p=p+1, t=1$

$TCH_{ip} < CA_{ip}$ 이면

: $t=t+1$, **Step 1** 수행

Step 3. $j \neq J$ 이면

: $j=j+1$, **Step 1** 수행

$j=J$ 이면

: Q_p, ss_p, RO_p 계산

$$: TI_p = TO_k$$

안전재고는 리드타임 동안 고객에 대한 수요 편차에 안전재고 계수를 곱하여 산출하며 재주문점은 안전재고와 리드타임 동안의 고객 주문량을 고려하여 산출한다.

$$ss_{ip} = Z_i \sqrt{\frac{\sum_{k=TO_{ij}}^{TO_{ij+1}} (D_{ik} - \bar{D}_{iLT_i})^2}{LT_i - 1}} \quad (7)$$

$$\bar{D}_{iLT_i} = \frac{\sum_{k=TO_{ij}}^{TO_{ij+1}} D_{ik}}{LT_i} \quad (8)$$

$$RO_p = ss_p + \sum_{k=TO_{ij}}^{TO_{ij+1}} D_{ik} \quad (9)$$

4.3 수량할당 모델

물류센터는 창고의 최대용적을 고려하여 생산자에 대한 입고 주문을 수행한다. 수량할당 모델은 창고구역의 특성에 따라 두 가지 모델로 구성된다. 첫 번째 모델은 창고의 고정구역 할당모델이고 두 번째 모델은 변동구역 할당모델이다. 각 수량할당 모델의 목적함수는 각 제품에 대한 순이익 최대화 함수이며 제약 조건은 각 제품에 대한 공간제약식이다.

4.3.1 고정구역 할당

고정구역의 제품은 제품별로 보관되며 최대용적량이 고정된다. 고정구역은 할당된 제품 i 이외의 다른 종류의 제품은 할당할 수 없다.

기호 및 인덱스

- CA_i : 제품 i 에 대한 창고 고정구역용적
- PP_i : 제품 i 에 대한 구매가격
- SP_i : 제품 i 에 대한 판매가격 (결정변수)
- CQ_{ip} : 제품 i 에 대한 창고 고정구역할당량

$$\text{Max} \sum_{i=1}^I CQ_{ip} (SP_i - PP_i) - TC_p \quad (10)$$

subject to

$$\sum_{i=1}^I CQ_{ip} \leq CA_i - IL_{ip, i+1} \quad (11)$$

$$CQ_{ip} \geq 0 \quad (12)$$

4.3.2 변동구역 할당

변동구역은 고정구역에서 할당하지 못한 주문량을 보관한다. 변동구역은 모든 제품을 보관할 수 있으며 최대용적량이 제한되어 있다. 또한 제품별 크기를 고려한 제품별로 단위용적

이 적용된다.

기호 및 인덱스

CF : 제품 i 에 대한 창고 변동구역용적

SC_i : 제품 i 에 대한 단위 용적

(결정변수)

FQ_{ip} : 제품 i 에 대한 창고 변동구역할당량

$$\text{Max } \sum_{i=1}^I SC_i FQ_{ip} (SP_i - PP_i) - TC_p \quad (13)$$

subject to

$$\sum_{i=1}^I SC_i FQ_{ip} \leq CF - ILF_{iTP+LT_i} \quad (14)$$

$$FQ_{ip} \geq 0 \quad (15)$$

4.4 주문량 조절

창고용적을 고려한 주문량 조절방법은 각 재고정책에서 발주한 입고주문량과 창고 할당량과의 비교과정의 거쳐 새로운 조정 주문량을 결정한다. 주문량 조절 절차는 다음과 같다.

기호 및 인덱스

Q_{ip}^{IP} : 제품 i 에 대한 재고정책 주문량

Q_{ip}^{PA} : 제품 i 에 대한 창고 할당량

Q_{ip}^* : 제품 i 에 대한 조정 주문량

f_{ip} : 제품 i 에 대한 재고정책 주문량과 창고 할당량의 차이

주문량 조절 절차

Step 0. 재고정책에 대한 주문량 구별

$$Q_{ip}^{IP} = Q_p$$

Step 1. 창고 할당량 계산 : Q_{ip}^{PA} 식(16)

Step 2. 재고정책 주문량과 창고 할당량과 차이 산출 : f_{ip} 식(17)

Step 3. Q_{ip}^* 선택 : 식(18)

$$Q_{ip}^{PA} = CQ_{ip} + FQ_{ip} \quad (16)$$

$$f_{ip} = Q_{ip}^{IP} - \left(Q_{ip}^{PA} + \sum_{k=TT_p}^{\pi_p + LT_i} D_{ip} \right) \quad (17)$$

$$Q_{ip}^* = \begin{cases} Q_{ip}^{IP}, & f_{ip} \leq 0 \\ Q_{ip}^{PA}, & f_{ip} > 0 \end{cases} \quad (18)$$

4.5 재고정책 선택 시뮬레이션 모델

본 연구에서 제시하는 재고정책 선택 시뮬레이션 모델은 연속실사 시스템인 (R, Q) 정책과 (s, S) 정책을 사용하였다. 시뮬레이션에 필요한 데이터는 기간 범위, 제품 수요, 제품 리드타임 등 시뮬레이션 초기값과 물류센터 비용

에 관계된 데이터이다. 제품 수송에 필요한 수송비용은 제품당 입고주문이 발생한 경우 제품 종류와 관계없이 같은 비용이 필요하다고 가정하였다. 또한 창고 변동구역용적을 고려한 제품 단위 용적은 제품마다 정수배가 적용된다. 주문이 발생하면 주문시점을 기준으로 이전 주문시점부터 식(19)에서 비용을 산출하였다.

$$TC_p = TR + A + KWC + \sum_{k=TT_p-1}^{\pi_p} \{ IL_k (UV_k + H_k) + D_k UD_k + B_k BC_k \} \quad (19)$$

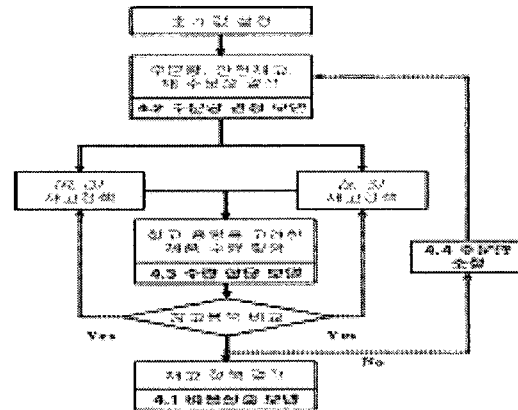
재고정책 선택 시뮬레이션은 그림 4와 같이 비용측면에서 효율적인 재고정책과 주문시점마다의 고객주문에 따른 주문량, 재주문점, 안전재고를 결정한다.

$$Q'_k = \frac{\sum_{i=1}^I (TI_{i,k} - TI_{i,k-1}) Q'_i}{P} \quad (20)$$

$$RO'_k = \frac{\sum_{i=1}^I (TI_{i,k} - TI_{i,k-1}) RO'_i}{P} \quad (21)$$

$$ss'_k = \frac{\sum_{i=1}^I (TI_{i,k} - TI_{i,k-1}) ss'_i}{P} \quad (22)$$

$$Q'_k = \begin{cases} Q'_k, & (R, Q) \text{ 정책} \\ Q'_{k,IP} + RO'_k, & (s, S) \text{ 정책} \end{cases} \quad (23)$$



<그림 4> 재고정책 시뮬레이션 구조

재고정책 선택 시뮬레이션 절차

Step 0. 시뮬레이션 초기 값 및 비용상수 설정

Step 1. 초기 시점 : $k=1$

Step 2. 제품입고 주문량, 안전재고, 재주문점 결정, $k=k+1$

Step 3. 고객 수요에 대한 각 재고정책 수행

Step 4. 각 재고정책에 대한 재고량이 재주문점 도달 시

- : 수량할당 모델 Step 5 수행
- 그 외
- : Step 3 수행
- Step 5. 수량할당 모델 수행
- Step 6. 조정 주문량 생성 시
- : 조정 주문량 사용
- : 현재 k시점 재고정책 재수행 Step 3
- Step 7. $k \neq K$ 이면
- : $p=p+1$, Step 2 수행
- 그 외
- : TC_p 산출,
- Step 8. 각 재고정책에 대한 TC_k 비교
- 비용이 작은 재고정책 선택
- Q_{ip}^* , RO_{ip}^* , SS_{ip}^* 산출

5. 수치예제 및 분석

본 장에서는 앞서 제시한 모델들의 수치예제를 제시한다. 수치예제는 고객수요의 표준편차에 대한 세 개의 데이터 set을 구성하였으며 수치예제 결과로 고객 수요의 변동에 대한 재고정책 별 물류센터의 총비용, 주문량, 재주문점 그리고 안전재고를 산출하였다. 또한 제 3자 물류시스템에 대한 제 4자 물류시스템의 재고정책 선택 모델의 효과를 분석하기 위해 제품의 리드타임에 대한 수치예제를 수행하였으며 이에 따른 제 4자 물류시스템의 기대효과를 제시했다.

5.1 데이터 설정

고객 수요의 난수발생은 수요의 변동에 따라 표4와 같이 3개의 집단으로 분류하였고 30개의 단위기간을 설정하였다.

<표 4> 데이터 집단 구분

	데이터 1	데이터 2	데이터 3
평균	100	100	100
σ	5	15	25
발생개수	30	30	30

고객 수요의 변동에 대한 총비용의 변동을 분석하기 위해 평균이 100이며 표준편차가 5, 15, 25인 정규분포에 따라 3개의 데이터 set을 설정하였다.

<표 5> 초기 설정 및 비용관련 데이터

	TR	A	WC	H_i	UD_i	UV_i	BC_i
단위	6000	300	4	3	1.5	2	4
	PP_i	SP_i	K	LT_i	CA_i	CF_i	SC_i
단위	5	6	30	2	400	20	2

초기 설정과 물류센터의 비용관련 데이터는 표5와 같이 설정하였으며 변동구역용적의 크기는 20으로 설정하고 제품에 대한 단위용

적은 2로 설정하였다.

5.2 수치예제결과 및 분석

수요변동에 대한 Q_{ik}^* , RO_{ik}^* , SS_{ik}^* 는 표6에 나타나 있다. 수요변동이 증가할수록 Q_{ip}^* , RO_{ip}^* , SS_{ip}^* 모두 증가하며 SS_{ik}^* 의 변동폭이 가장 크게 나타났다.

<표 6> 수요변동에 대한 Q_{ik}^* , RO_{ik}^* , SS_{ik}^*

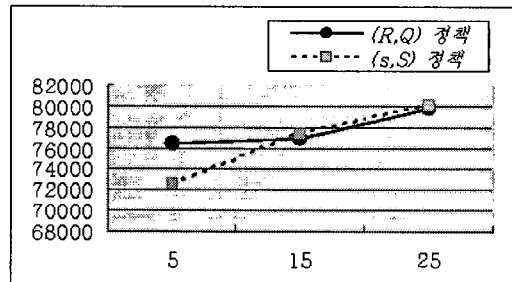
σ	Q_{ik}^*	RO_{ik}^*	SS_{ik}^*
5	395.62	198.35	3.28
15	386.85	195.06	9.84
25	408.90	215.78	14.29

재고정책에 대한 총비용은 다음 표7과 같이 산출되었고 그림5는 산출된 결과를 그래프로 나타내었다.

<표 7> 재고정책에 대한 총비용(TC_k)

		(R, Q) 정책			
σ		5	15	25	평균
TC_{ik}		76455	77013	79839	77769
		(s, S) 정책			
σ		5	15	25	평균
TC_{ik}		72626	77470	80209	76768

수요 변동과 관계없이 총비용은 (s, S)정책이 (R, Q)정책보다 더 낮게 산출되었고 수요의 변동이 작을수록 비용도 낮게 산출되었다.



<그림 5> 수요변동에 대한 비용변화

본 수치예제는 제 4자 물류환경에서 물류센터의 재고정책 선택과정에서 고객수요의 변동이 낮을 때 (R, Q)정책과 비교하여 (s, S)정책이 더 낮은 비용을 산출하였지만, 고객수요 변동에 대한 비용의 증가도 크다는 것을 알 수 있다. 고객수요의 표준편차가 5일 경우는 (s, S)정책이 더 낮은 비용을 산출했지만, 표준편차가 15와 25일 경우는 (R, Q)정책이 더 낮은 비용을 산출하였다. 이러한 결과는 제 4자 물류환경에서 다양한 특성을 가진 제품과 급변하는 수요형태에 대응하기 위해서 고객수요의 특성에 적합한 재고정책의 선택의 중요성이 강조된다.

5.3 제 4자 물류시스템의 기대효과

공급사슬에서 고객수요에 대응하는 개체는

제 3자 물류시스템에서는 생산자이며, 제 4자 물류환경에서는 물류센터이다. 이러한 특성을 고려하여 공급사슬에서의 리드타임을 각각 2와 3으로 설정하여 제 4자 물류시스템의 재고정책 선택 모델의 효과를 분석하였다. 수요 변동에 대한 RO_{ik}^* , SS_{ik}^* 결과는 표8과 같다.

<표 8> 수요변동에 대한 RO_{ik}^* , SS_{ik}^*

σ	제 3자 물류시스템		제 4자 물류시스템	
	RO_{ik}^*	SS_{ik}^*	RO_{ik}^*	SS_{ik}^*
5	296.28	3.26	198.35	3.28
15	288.86	9.78	195.06	9.84
25	310.23	20.69	215.78	14.29

표9는 각 물류환경에 대한 총비용의 결과이다. 표8의 결과값을 통해 제 3자 물류환경은 제 4자 물류환경에서 보다 RO_{ik}^* 가 크며, RO_{ik}^* 에 따라 비용도 증가하는 것을 알 수 있다. 생산자가 직접 고객 수요에 대응하여 생산하고 물류센터에 배송주문을 하는 제 3자 물류시스템과 물류센터가 고객의 주문을 받아 배송하는 제 4자 물류시스템의 재고정책 모델은 공급사슬에서 수요에 대응하는 위치에 따라 표9의 TC_{ik} 차이와 같이 비용감소효과가 기대된다.

<표 9> 재고정책에 대한 총비용(TC_{ik})

σ	(R, Q) 정책		
	제 3자 물류	제 4자 물류	TC_{ik} 차이
5	83141	76455	-6686
15	83699	77013	-6686
25	84889	79839	-5050
σ	(s, S) 정책		
	제 3자 물류	제 4자 물류	TC_{ik} 차이
5	73193	72626	-567
15	79369	77470	-1899
25	86824	80209	-6615

6. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 제 4자 물류환경에서의 물류시스템 구조와 다양한 제품특성 및 물류환경을 고려한 재고정책 선택 모델을 제시하였다.

2장에서 제시한 제 4자 물류시스템 구조는 고객이 생산자에게 주문하는 과정에서 제 3자 물류시스템과 차이가 있다. 제 4자 물류시스템 구조에서는 고객이 물류업체에게 주문하게 되며 이에 따라 생산자는 고객에 대한 수요가 아닌 물류업체의 주문에 따라 제품을 생산한다. 또한 물류센터는 제 3자 물류환경에서의 생산자 주문에 의한 입·출고 계획이 제 4자 물류환경에서는 고객 수요에 대한 재고정책으로 전환되어 수행된다.

본 연구에서 제안한 물류센터 재고정책 선택 모델은 크게 물류센터 비용산출 모델, 주문량 결정 모델, 수량 할당 모델 그리고 주문량

조절 방법으로 구분된다. 물류센터 비용산출 모델은 제 4자 물류 시스템 구조를 반영하여 비용을 산출하며 재고정책을 선택하는 기준을 제시하였다. 또한 주문량 결정 모델은 제품수요 패턴을 고려한 물류센터의 입고주문량을 결정하며, 수량 할당 모델을 통하여 고정구역과 변동구역으로 구분되는 보관용적을 산출하여 입고주문량과 비교하게 된다. 입고주문량이 보관용적을 초과할 경우에는 주문량 조절방법으로 입고주문량을 수정한다. 본 연구에서 제시한 재고정책 선택 시뮬레이션 모델은 제 4자 물류시스템 프로세스를 반영한 세부모델을 이용하여 재고정책 선택과정을 제시하였다. 수치예제 실험은 수요의 패턴을 표준편차를 기준으로 구분하여 수행하였으며 그 결과로 수요변동이 클수록 주문량과 비용이 증가하였고 (R, Q)정책과 비교하여 (s, S)정책에서 비용의 증가가 크게 산출되었다. 또한 리드타임을 이용한 분석을 통해 제 3자 물류환경은 제 4자 물류환경에서 보다 RO_{ik}^* 가 크며 비용도 증가하는 것을 알 수 있었다.

향후 연구과제로는 물류센터의 수·배송과정에 대한 구체적인 비용요인을 고려한 물류센터의 비용산출에 관한 연구 및 제품특성과 고객수요패턴을 고려한 재고정책 선택과정에서 누적된 수요정보를 이용하여 최적 주문량과 재고정책을 결정하는 모델에 관한 연구가 필요하다.

Acknowledgement

본 연구는 한국 과학 재단 지정 인천대학교 동북아전자물류센터의 지원에 의한 것임.

참고 문헌

- [1] Ashayeri, J. and Gelders, L.F., "Warehouse design optimization", *European Journal of Operation Research*, Vol. 21, pp. 285-294 (1985).
- [2] Cachon, G. P. and Zipkin, P. H., "Competitive and cooperative inventory policies in a two-stage supply chain", *Management Science*, Vol. 45, No. 7 (1999).
- [3] Ganesham, R., "Managing supply chain inventories : A multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model", *Int. J. Production Economics*, Vol. 59, pp. 341-354 (1999).
- [4] Gray, A.E., Karmarkar, U.S. and Seidmann, A., "Design and operation of an order-consolidation warehouse: Models and application", *European Journal of Operation Research*, Vol. 58, No. 1, pp. 14-16 (1992).
- [5] 김우주, "신경회로망과 (s*, S*)정책을 이용

한국경영과학회/대한산업공학회 2003 춘계공동학술대회
2003년 5월 16일-17일 한동대학교(포항)

한 대규모 유통업을 위한 재고 관리 시스템의 개발”, 정보시스템 연구, Vol. 6, No. 1, PP. 223-256(1997).