

## 구매종속성이 존재하는 상황에서 드롭-배송 옵션을 활용한 부분 부재고 재고모형\*

박 창 규<sup>†</sup>  
울산대학교 경영대학

### A Partial Backordering Inventory Model with a Drop-Shipping Option under Purchase Dependence

Changkyu Park<sup>†</sup>  
College of Business, University of Ulsan

#### ■ Abstract ■

Drop-shipping is a commonly adopted online-order fulfillment strategy in the Internet age. In this practice, online retailers leverage the fulfillment capabilities of suppliers to fulfill orders. On the other hand, purchase dependence is a frequent phenomenon and is characterized by the purchase of certain items together due to their unknown interior associations. Although this concept has been significantly examined in the marketing field (e.g. market basket analysis), it has largely remained unaddressed in operations management. This paper develops an (R, T) model to address an environment in which unmet demand orders are partially lost and partially backordered when purchase dependence exists. The partial backorders are fulfilled by a drop-shipping option. Through computational analyses, this paper demonstrates the effect of both drop shipping on a partial backordering and purchase dependence. The results shows that more profit can be realized by utilizing a drop-shipping option under purchase dependence.

Keywords : Inventory, Partial Backordering, Drop-Shipping, Purchase Dependence

논문접수일 : 2015년 04월 19일    논문게재확정일 : 2015년 09월 11일

논문수정일 : 2015년 07월 24일

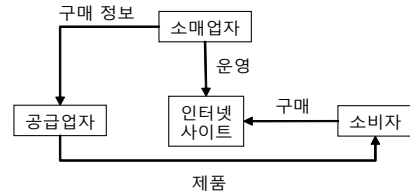
\* 이 논문은 2015년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2015S1A5A2A01009207).

† 교신저자, ckparkuou@ulsan.ac.kr

## 1. 서 론

인터넷 기술은 유통채널의 혁신을 불러 일으켰다. 상대적으로 저렴한 전자매체인 인터넷은 소매업자와 공급업자를 원활하게 통합시킴으로써 거래비용을 크게 감소시켰다. 인터넷은 거의 실시간으로 공급업자로부터 소매업자에게로 보유재고 및 가격에 대한 의사소통을 가능케할 뿐만 아니라, 주문 또한 거의 실시간으로 소매업자로부터 공급업자에게로 발주 가능케 한다. 이러한 인터넷의 기능을 활용하기 위해서 몇몇 소매업자들은 완전히 새로운 비즈니스 모델을 개발하거나 현재의 비즈니스 모델을 전체적으로 새롭게 재설계 하였다. 그러나 몇몇 닷컴회사들(예로서, Webvan.com이나 Kozmo.com)과 같은 비즈니스 혁신자들이 인터넷 사업에 반짝 나타났다가 순식간에 사라져 버렸다. 그 여파로 인터넷 소매업자로 성공하기 위해서는 주문처리 등과 같은 사업 기본기능들이 얼마나 중요한지 더 잘 인식하게 되었다[5, 18, 25].

일반적으로 주문처리(Order fulfillment)는 인터넷 소매업체에게 가장 비싸고 중요한 프로세스 중에 하나로 간주되고 있다. 인터넷의 빠른 속도와 정시 서비스에 대한 증가하는 기대감 때문에 인터넷 소매업들은 이러한 속도뿐만 아니라 정시배달 및 재고보유와 같은 문제에 어려움을 겪고 있다. 이러한 인터넷 시대에 전통적으로 우편주문 회사에서 사용된 드롭-배송(drop-shipping)이 널리 채택되는 온라인 주문처리 전략이 되었다. 이러한 상황에서 인터넷 소매업은 고객 주문을 처리하기 위하여 공급업의 주문처리 능력을 활용한다. 드롭-배송은 인터넷 소매업가 제품의 개발 및 생산, 재고추적, 창고관리, 배송 및 입하 하부구조의 유지 등과 같은 운영 상의 문제를 직접 다루지 않고 제품을 판매할 수 있도록 다. 드롭-배송 계약에 따라, 인터넷 소매업로부터 주문을 받으면 드롭-배송자는 인터넷 소매업의 고객에게 직접 제품을 배송한다[4, 24]. <그림 1>은 드롭-배송을 도식적으로 보여주고 있다.



<그림 1>드롭-배송

Randall et al.[21]이 지적하였듯이, 드롭-배송은 소매업자에게 (i) 재고 및 주문처리 능력에 대한 투자의 감소와 (ii) 더욱 다양해진 제품구색과 같은 혜택을 제공한다. 또한 공급업자에게는 다음과 같은 혜택을 제공한다: (i) 보다 예측 가능한 제품 가용성, (ii) 규모의 경제로 인한 낮은 원가, 그리고 (iii) 낮은 운송비용. 드롭-배송이 여러 가지 이점을 제공하지만, 그에 따른 비용과 위험이 전혀 없는 것은 아니다. 가장 두드러진 것은 (i) 제품마진의 감소, (ii) 서비스 품질에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 통제 상실, 그리고 (iii) 고객에 대한 잠식이다.

단점을 피하면서 드롭-배송의 장점을 취하기 위하여 인터넷 소매업자는 제품의 일부분을 물리적재고로 유지하고 나머지 부분은 드롭-배송하는 것과 같은 혼합 형태를 추구할 수 있다. 따라서 현장에서 실시되고 있는 형태는 재고를 전혀 보유하지 않는 순수 드롭-배송 형태에서부터 재고로 주문을 처리하는 정규주문 처리의 보충 수단으로 드롭-배송을 활용하는 형태까지 다양하게 존재한다. 본 논문은 혼합전략을 채택하는 인터넷 상거래 비즈니스를 고려한다. 즉, 인터넷 소매업자는 고객주문을 처리하기 위하여 다품목의 재고를 보유 및 관리하고, 재고가 부족한 품목은 드롭-배송으로 주문을 만족시킨다.

본 논문은 재고부족 발생시 드롭-배송 옵션을 활용하는 것뿐만 아니라 다품목의 재고를 관리하는데 구매 종속성을 고려한다. 구매종속성에 대한 연구가 마케팅 분야에서는 심도있게 진행되었지만(예를 들면, 장바구니 분석), 생산관리 분야에서는 구매종속성에 대한 개념이 비교적 생소한 편이다. 구매종속성은 여러품목들이 알려지지 않은 내부 연관

성에 의해 함께 구매되는 상황에서 고객의 구매행태에 관심을 갖는다. 예를 들어, 어떤 품목들의 그룹이 구매종속성의 특성을 갖고 있다면, 이러한 품목들은 함께 주문이 되는 경향을 보인다. 이런 구매행태에서 모든 품목들이 재고로 있으면 고객주문을 만족시키는데 별 다른 어려움이 없다. 그러나 하나의 품목이라도 재고부족이 발생하면, 다른 품목들은 재고로 충분히 있더라도 상황은 모든 품목들이 재고부족인 경우와 동일하다. 이런 경우, 한 주문에 있는 전체 품목에 대한 판매손실이 발생하거나 부분 부재고가 발생할 수 있다. 본 논문은 부분 부재고를 다룬다. 이 부분 부재고는 드롭-배송 옵션에 의해 처리된다.

요약하면, 본 논문은 구매종속성이 존재하는 인터넷 상거래 비즈니스를 다룬다. 여기서 인터넷 소매업자는 다품목의 재고를 보유 및 관리하고, 부분 부재고를 처리하기 위하여 드롭-배송 옵션을 활용하고 있다. 부분 부재고를 갖는 구매종속성의 현상은 의류, 서적, CD, 장난감 등을 판매하는 인터넷 쇼핑몰에서 관측될 수 있다. 웹 고객은 자신이 원하는 품목들을 쇼핑하여 장바구니에 담는다. 쇼핑을 마친 후, 고객이 구매버튼을 누르면 웹 사이트는 장바구니에 있는 어떤 품목이 즉시 배송 가능하고, 어떤 품목에 재고부족이 발생했는지 알려준다. 어떤 품목에 재고부족이 발생했을 때, 인쇄심이 부족한 고객은 구매주문을 취소하고 다른 쇼핑몰을 찾아 떠난다. 그러나 인쇄심이 있는 고객은 즉시 배송 가능한 품목은 우선적으로 전달 받고, 재고가 부족한 품목에 대해서는 조금 기다려 줄 것이다. 재고가 바닥이 난 품목은 드롭-배송업자에 의해 직접 고객에게 전달된다.

드롭-배송 옵션의 이점은 다음 장에서 고찰할 많은 연구들에 의해 검토되었듯이 널리 주지되고 있다. 그리고 최근 들어, Bala[6, 7], Bala et al.[8], 박창규, 서준용[2] 및 박창규[1]와 같은 몇몇 연구들에 의해 구매종속성이 인식되었다. 그러나 드롭-배송 옵션과 구매종속성을 동시에 고려한 연구는 아직 발표되지 않고 있다. 따라서 본 논문은 구매종

속성이 존재하는 상황에서 드롭 배송 옵션을 활용하는 방안에 대해 연구한다. 구매종속성에 의해 고객들은 사고자 하는 모든 품목들을 한 번에 모두 함께 구입하려는 경향을 보이고, 일부 품목의 품질에 의한 판매손실을 줄이기 위하여 소매업자는 드롭-배송 옵션을 활용할 수 있다. 이러한 상황에서 보다 많은 이익과 보다 적은 재고운영비용을 달성하기 위해 재고보충정책을 설계하는데 구매종속성에 대한 지식과 드롭-배송 옵션을 활용할 수 있다. 이러한 과정을 통해 구매종속성이 존재하는 상황에서 드롭-배송 옵션의 가치를 분석할 수 있다. 이러한 분석은 소매업자가 드롭-배송 옵션으로부터 혜택을 보기 위해 이 옵션에 비용을 얼마까지 지불할 수 있는지에 대한 정보를 제공한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 다음 장은 본 논문의 주제와 관련된 문헌에 대하여 논한다. 제 3장은 구매종속성과 부분 부재고에 대해 드롭-배송하는 경우를 고려해 개발한 재고모형을 설명한다. 제 4장은 새로 개발한 모형을 설명하고 다양한 부재고율에 따라 최적재고정책이 어떻게 작동하는지 검토하기 위하여 실시한 수치적 분석에 대해 기술한다. 또한, 구매종속성이 재고운영비용에 미치는 영향을 보여줌으로써 구매종속성의 중요성을 설명한다. 마지막으로 제 5장에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

## 2. 관련 논문에 대한 고찰

소매업자가 재고수준을 결정하고, 그 재고를 관리하는 전통적인 방법에 대한 연구는 생산관리분야에서 아주 심도 있게 진행되어 왔다. 최근 들어, 온라인과 오프라인의 통합(예를 들면, Clicks-and-Mortar 비즈니스 모델)이 전통적인 소매업자에게 시장 점유율을 높이고 서비스를 향상시킬 수 있는 기회를 제공할 수 있을 것이라는 인식이 널리 퍼지고 있다[10]. 그러나 채널통합과 그와 관련된 이슈들에 대한 학술 지향적인 연구들은 주로 인터넷 소매업의 마케팅관점에 집중하고 있고, 대부분이 정

성적인 성격을 띄고 있다(예를 들면, Gulati and Garino[12], Steinfield et al.[22], Bialogorsky and Naik[9], De Koster[11], Randall et al.[20]). 재고관리나 주문처리 및 배송 등과 같은 생산운영관점에서 인터넷 소매업에 대해 분석한 연구는 이제 시작되었지만, 아직 초보적인 단계에 머물러 있다.

인터넷 상거래에서 가장 취약한 부분 중에 하나로 간주되고 있는 것이 주문처리이고, 인터넷 소매업자들이 온라인 주문을 처리하기 위해서 주로 사용하는 기법들 중에 하나가 드롭-배송이다. 인터넷 소매업자들 간에는 드롭-배송이 아주 인기 있게 이용되는 기법이지만, 학술적인 관심은 크게 끌지 못했다. Agatz et al.[3]이 다양한 채널이 존재하는 환경에서 인터넷 주문처리와 관련된 문헌에 대해 심도 있는 고찰을 수행했으므로, 본 논문은 드롭-배송과 관련된 이슈에 대해 정량적 분석을 수행한 문헌에 초점을 맞추고자 한다.

<표 1>은 분석도구 관점에서 정리한 문헌들에

대한 요약을 보여준다. 분석도구로서 단일기간 모형을 사용한 연구에는 Khouja[16], Lee and Chu[17], Hovelaque et al.[14], 그리고 Netessine and Rudi[18]가 있다. 보유한 재고에 부족이 발생했을 때 드롭-배송을 기꺼이 수용할 고객이 제한되어 있다고 가정하고, Khouja[16]는 단일기간 모형을 이용하여 보유 재고시스템과 드롭-배송 옵션을 혼합한 재고정책에 대해 연구하였다. 여러 가지의 수요분포 하에서 그는 드롭-배송 옵션과 보유재고 수요에 대한 최적 주문량을 분석하였고, 그의 정책이 기대이익을 상당히 증가시킬 수 있음을 보였다.

Lee and Chu[17]는 신문팔이 소년이 처한 것과 같은 환경에서 운영되는 공급사슬을 고려하였다. 공급사슬은 상류의 공급자와 하류의 소매업자로 구성되었고, 다음과 같은 2가지 방법 중에 하나로 운영된다: 전통적인 방법(즉, 하류의 소매업자가 재고수준을 결정하고 재고를 보유함)과 새로운 방법(즉, 상류의 공급자가 재고보유 및 재고수준을 결

<표 1>드롭-배송 방법에 대한 정량적 연구

연구	공급사슬구조	의사결정자	분석도구	분석내용
Khouja[16]	다수 공급업자- 단일 소매업자	소매업자	단일기간 모형	드롭-배송 옵션과 보유재고수요에 대한 최적주문량 분석
Lee and Chu[17] Hovelaque et al.[14]	단일 공급업자- 단일 소매업자	소매업자/ 공급업자	단일기간 모형	전통적 방법과 드롭-배송 방법의 비교 평가
Netessine and Rudi[18]	단일 공급업자- 다수 소매업자	소매업자/ 공급업자	단일기간 모형	전통적 방법, 드롭-배송 방법, 이 중전략에 대한 평가
Khouja and Stylianou[15]	다수 공급업자- 단일 소매업자	소매업자	(Q, r) 재고 모형	드롭-배송 옵션을 활용한 두 가지 (Q,r) 재고모형 개발
Bailey and Rabinovich[5]	다수 공급업자- 다수 소매업자	소매업자	다품목(Q, r) 재고 모형	시장점유율과 제품인기도에 대한 이중전략 검토
Ayanso et al.[4]	다수 공급업자- 단일 소매업자	소매업자	(Q, r) 재고모형을 활용한 몬테칼로 모의실험 모형	보유재고와 드롭-배송에 대한 재 고할당정책의 입수 수준 검토
Netessine and Rudi[18]	단일 공급업자- 단일(무재고) 소매업자	소매업자	Stackelberg 게임	시스템 최적해를 달성하는 공급사 슬 통합계획 제안
Yao et al.[25]	단일 공급업자- 단일(무재고) 소매업자	소매업자	Stackelberg 게임	인터넷 드롭-배송 분배시스템에서 이익배분과 주문처리 품질간의 상 호작용 분석
Xiao et al.[24]	단일 공급업자- 단일 소매업자	Clicks-and- Mortar 소매업자	이산형 동적계획 모형	최적재고와 제휴프로그램의 허용 정책에 대한 검토
Chen et al.[10]	두 공급업자- 단일(무재고) 소매업자	공급업자	이산형 동적계획 모형	최적재고와 두 드롭-배송업자에 대한 동적 허용정책에 대한 분석

정함). 그들은 두 경우의 기대이익을 비교하였다. Hovelague et al.[14]는 물리적인 상점에 기반한 판매 네트워크가 웹 사이트에 기반한 주문 네트워크와 공존할 때 3가지의 다른 형태를 비교하였다. 3가지 형태는 (i) 소매상점에서 인수, (ii) 지정된 도매상점에서 인수, 그리고 (iii) 드롭-배송이다. 그들은 3 가지 형태의 장점을 비교하고, 공급사슬에서 재고정책의 특정한모수의 영향을 분석하기 위해서 단일기간 모형을 이용하였다.

Netessine and Rudi[18]는 소매업자의 3가지 유통채널을 평가하였다: 전통적 방법(즉, 소매업자가 재고를 소유 및 유지), 드롭-배송 방법, 그리고 이중전략(즉, 소매업자가 주 주문처리 방법으로 보유 재고를 사용하고, 필요 시 드롭-배송을 보조로 활용). 그들은 공급업자와 소매업자가 서로 공조하지 않는 상황에서 이중전략을 모형화 하였다. 또한, 그들은 수요변동, 채널에 있는 소매업자의 수, 가격 및 운송비용 등과 같은 주요 모수들의 범위를 적절히 조정하면서 각 유통채널이 선호되는 상황의 특성을 기술하였다.

드롭-배송의 효과를 검토하기 위하여 Khouja and Stylianou[15]는 조달기간 동안에 발생한 재고 부족에 대해 소매업자가 드롭-배송 옵션을 사용하는 경우를 고려한 2개의(Q, r) 재고모형을 개발하였다. 첫 재고모형에서는 부족한 재고가 부재고로 처리되지만, 두 번째 재고모형은 부분 판매손실로 처리된다. Bailey and Rabinovich[5]는 다음의 2 가지 전략 하에서 인터넷 서적 소매업자의 재고관리 의사결정을 검토하기 위하여 다품목 (Q, r) 재고모형을 개발하였다: 보유재고에 의존한 전략(전통적인 방법)과 드롭-배송에 의존한 전략. 그들은 인터넷 소매업자가 시장 점유율이 높아지면 2가지 전략 모두를 고려하고, 제품의 인기가 높아지면 보유 재고에 더 의존한다는 것을 알아냈다. Ayanso et al.[4] 연구에서 인터넷 소매업자는 주문처리를 위해 보유재고와 드롭-배송 옵션을 모두 사용한다. 창고에 재고가 충분하지 않을 때, 인터넷 소매업자는 수익율이 낮은 수요는 드롭-배송업자에게로 전달

한다. 인터넷 소매업자의 의사결정문제는 수익율이 낮은 수요를 보유재고로 충족시킬 것인지 또는 드롭-배송 옵션으로 처리할 것인지를 구분 짓는 임계 재고수준을 결정하는 것이다. 확률적 수요와 조달기간에 대해 임계수준 재고매정정책을 검토하기 위하여 몬테칼로 시뮬레이션 모형이 개발되었다.

한편, Netessine and Rudi[18]는 드롭-배송이 활용되는 상황에서 단일 공급업자와 단일 소매업자로 구성된 공급사슬을 분석하였다. 분석은 마케팅 비용과 생산운영비용을 포함하는 다양한 권력구조 하에서 진행되었다. 그들은 소매업자가 재고유지비용의 일부를 공급업자에게 보상하고, 공급업자는 마케팅비용의 일부를 소매업자에게 보조함으로써 전체 시스템 최적 해를 달성할 수 있는 공급사슬 통합계획을 제안하였다. Stackelberg 게임을 이용하여 Yao et al.[25]은 인터넷 소매업자와 공급업자로 구성된 인터넷 드롭-배송 분배 시스템에서 일어날 수 있는 이익배분과 주문처리 품질 간의 상호작용을 분석하였다. 그들은 주로 배송 신뢰도를 높이기 위해서 인터넷 소매업자가 공급업자에게 어느 정도의 인센티브를 제공하여야 하는지에 대해 탐구하였다. 또한, 그들은 어떤 때 공급업자가 기꺼이 사적 비용정보를 인터넷 소매업자와 공유할 것인지에 대해서 언급하였다.

마지막으로, Xiao et al.[24]는 하나의 온라인 사이트와 2개의 물리적 상점을 통하여, 또한 제휴 프로그램에 의해 제 3자 웹 사이트를 통하여 계절성 제품을 판매하는 Clicks-and Mortar 형태의 소매업자를 고려하였다. 소매업자는 제조업자나 분배센터 등과 같은 여러 자원을 이용하여 온라인 주문을 드롭-배송 방식으로 처리할 수 있다. 판매기간 동안에 소매업자는 제휴 프로그램의 개방 및 폐쇄를 유동적으로 통제하여야 하고, 또한 온라인 주문에 대한 처리방식도 결정하여야 한다. 그들은 동적 계획 모형을 이용하여 소매업자의 최적재고와 제휴 프로그램의 허용정책을 조사하였다. 추가로 Chen et al.[10]은 유한 기간 동안에 계절성 제품(즉, 재보충이 안되거나 폐쇄적인 제품)을 판매하는 3개

의 독립적인 이익센터로 구성된 소매시스템을 고려하였다: 무재고 인터넷 소매업자, 주 드롭-배송업자, 그리고 보조 드롭-배송업자. 두 드롭-배송업자는 인터넷 소매업자에게 드롭-배송자로서의 역할을 수행할 뿐만 아니라, 그들의 전통적인 상점에서 제품을 판매한다. 동적 계획 모형에 기반하여 Chen et al.[10]은 두 드롭-배송업자에 대한 순차적인 최적 허용정책과 최적 초기 재고량에 대해 연구하였다.

구매종속성은 소매점이나 슈퍼마켓에서 매우 빈번하게 발생하는 현상이다. Balaf[6, 7]와 Bala et al.[8]은 소매판매에서 구매종속성을 확인하였고, 박창규, 서준용[2]는 선박 엔진 및 발전기 부품 유통업체의 재고운영 실태를 분석하는 과정에서 구매종속성을 인식하였다. Balaf[6]는 특정한 수요형태를 따르도록 생성한 데이터를 이용하여 다양한 재고보충정책에 대한 모의실험을 실시하였다. 그는 적용 가능한 재고보충정책에 대해 비용-편익분석을 실시하여 최선의 재고보충정책을 선정하였다. 실질적으로, 구매종속성이 존재하는 상황에서 재고부족이 발생했을 때, 전체 주문이 취소되는 판매손실을 다룬 재고모형을 제시한 첫 연구는 박창규, 서준용[2]에 의해 수행되었다. 이들은 Hadley and Whitin[13]가 제시한 정량발주 모형의 평균 연간 비용에 구매종속성이 존재할 때 발생하는 추가적인 판매손실 비용을 반영시켜 모형을 확장하였다. 또한, 그들은 정량발주 모형에 대해 고객봉사수준을 이용한 방법도 제시하였다. 다음으로 박창규[1]는 구매종속성이 존재하는 상황에서 재고부족이 발생했을 때, 부재고와 판매손실이 결합된 형태인 부분 부재고를 다룬 재고모형을 제시하였다. 그는 Pentico and Drake[19]가 제안한 단일품목 부분 부재고 확정적 EOQ 모형을 이용하여 구매종속성을 고려한 다품목 부분 부재고 EOQ 모형으로 확장하였다.

### 3. 모형 수립

드롭-배송과 구매종속성의 효과를 살펴보기 위해

서 본 논문은 구매종속성이 존재하는 환경에서 부분 부재고를 처리하기 위해 드롭-배송 옵션을 활용하는 상황을 수용할 수 있는 정기발주 (R, T) 모형을 개발한다. 우선 드롭-배송 옵션이나 구매종속성을 고려하지 않은 (R, T) 모형을 간단히 살펴보고, 본 논문은 드롭-배송 옵션, 구매종속성, 그리고 둘 다를 고려하는 새로운 재고모형을 순차적으로 개발한다.

#### 3.1 정기발주(R, T) 모형

구매종속성이 존재하지 않는다고 가정하면 다품목 재고시스템은 Hadley and Whitin[13]가 제안한 판매손실을 고려한 근사적 접근법을 사용하여 쉽게 관리할 수 있다. 본 절은 이 근사적 접근법을 간단히 요약한다. 각 품목이 개별적으로 관리가 가능하기 때문에 모든 침자는 생략하기로 한다.

기호

$T$	주문주기
$R$	최대재고 수준
$D$	연간수요
$s$	판매가격
$C_p$	정규 재고보충 주문에 대한 구매비용
$C_d$	드롭-배송 옵션에 대한 구매비용
$C_o$	주문비용
$C_h$	재고유지비용
$C_g$	판매손실에 대한 비용(goodwill loss)
$C_i$	판매손실 비용(손실이익과 goodwill loss 포함)
$\mu$	재고 보충 조달기간 중 평균수요
$\hat{h}(x; T)$	(조달기간+T) 기간 중 수요 $x$ 에 대한 pdf
$\hat{H}(x; T)$	Complementary cumulative of $\hat{h}(x; T)$
$B(R; T)$	한 주기당 평균 판매 손실 수
	$B(R; T) = \int_R^{\infty} (x-R)\hat{h}(x; T)dx$
$P$	평균 연간이익
$K$	평균 연간비용
$\beta$	모든 고객주문에 대한 평균 부재고율

평균 연간이익  $P$ 는 판매수익에서 주문비용과 재고유지비용 및 판매손실 비용을 차감한 것과 같다. 그러면

$$\begin{aligned}
 P &= (s - C_p) \left( D - \frac{B(R; T)}{T} \right) - \frac{C_o}{T} \\
 &\quad - C_h \left( R - \mu - \frac{DT}{2} + B(R; T) \right) - \frac{C_g}{T} B(R; T) \\
 &= (s - C_p) D - \frac{C_o}{T} - C_h \left( R - \mu - \frac{DT}{2} + B(R; T) \right) \\
 &\quad - \frac{s - C_p + C_g}{T} B(R; T)
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 평균 연간이익을 최대화하는 재고정책은 다음과 같이 정의된 평균 연간비용을 최소화하는 재고정책과 동일하다.

$$K = \frac{C_o}{T} + C_h \left( R - \mu - \frac{DT}{2} + B(R; T) \right) + \frac{C_l}{T} B(R; T) \tag{2}$$

여기서

$$C_l = s - C_p + C_g$$

$T$ 의 값이 주어지면, 식 (2)을 최소화하는  $R$ 의 값은 다음의 식을 만족시켜야 한다.

$$\hat{H}(R; T) = \frac{C_h T}{C_l + C_h T} \tag{3}$$

여기서

$$\hat{H}(R; T) = \int_R^\infty \hat{h}(x; T) dx$$

**정리 1 :** 만족되지 않은 주문이 부분 부재고로 분류되어 드롭-배송 옵션으로 충족될 경우,

$$C_l = (s - C_p + C_g) - \beta(s - C_p + C_g + s - C_d).$$

**증명 :** <부록 A>

만일  $\beta = 0$ 이면, 정리 1에 있는  $C_l$ 은 식 (2)에 있

는  $C_l$ 과 같아진다. 따라서 정리 1에 의해, 만족되지 않은 주문이 부분 부재고로 드롭-배송 옵션으로 충족될 경우, 판매손실 비용은 줄어들 수 있고, 결국 평균 연간비용의 절감으로 이어진다.

**보조정리 1 :** 드롭-배송 옵션에 지불할 최대비용은  $s - C_p + C_g + s$ .

**증명 :** <부록 A>

보조정리 1은 드롭-배송 옵션을 활용하는 것이 이익이 되기 위해서는  $C_d$ 에 얼마까지 지불하여야 하는지를 보여준다. 수치적 예제를 활용하여 제 4.2 절에서  $C_d$ 와  $\beta$ 의 값을 변화시켜가며 드롭-배송 옵션의 혜택을 설명한다.

### 3.2 구매종속성을 고려한 (R, T) 모형

구매종속성이 존재할 때, 수익성을 높이고 재고 운영비용을 보다 절감하기 위하여 박창규, 서준용 [2]은 구매종속성을 반영하도록 정량발주 (Q, r) 모형을 확장하였다. 본 절은 그들의 접근법을 (R, T) 모형에 적용시킨다.

추가 기호

- $\pi_i$       품목  $i$ 의 단위당 이익(손실) (=  $s - C_p$ )
- $p_k$       총 연간 주문에서 주문유형  $k$ 의 비율
- $J_i$       품목  $i$ 와 같이 요구된 품목들의 집합 (품목  $i$ 는 제외)
- $O_j$       품목  $j$ 를 포함하는 주문유형의 집합
- $p_{ij}$       품목  $i$ 와  $j$ 를 포함하는 주문유형의 비율
- $\alpha_i$       품목  $i$ 가 한 단위 부재고 일 때, 다른 품목들에 의해 발생하는 추가적인 평균 판매손실 비용

확장된 재고모형의 평균 연간비용도 주문비용과 재고유지 비용 및 판매손실 비용으로 구성된다. 그러나 구매종속성이 존재할 때 추가적인 판매손실

비용이 발생하므로 이 판매손실 비용을 포함하도록 식 (2)의 평균 연간비용에 있는 마지막 부분을 수정하여야 한다.

추가적인 판매손실 비용을 계산하기 위하여 박창규, 서준용[2]은 품목  $i$ 에 의한 판매손실 비용은 식 (2)의 평균 연간비용에 이미 포함되어 있으므로 품목  $i$ 가 부재고 일 때 품목  $i$  때문에 판매되지 못한 다른 품목들의 판매손실 비용을 고려하였다. 그들은 <표 2>에서 보여주는 3개의 품목을 다루는 재고시스템을 예제로 사용하여 어떻게 추가적인 판매손실 비용을 계산하는가를 설명하였다. 주문유형은 주문서에서 요구하는 품목들을 보여준다. 예를 들어, 어떤 주문이 품목 1과 품목 2를 요구한다면 그 주문은 <표 2>에서 주문유형 4에 해당한다. 비율  $p_k$ 는 전체 주문에서 주문유형  $k$ 가 차지하는 비율을 나타낸다. <표 2>의 마지막 열은 주문유형  $k$ 에 의한 연간 평균(이익) 판매손실 비용을 보여준다.

여기서 품목  $i$ 를 포함하는 주문유형들의 평균 연간이익을 합하고, 이 총합을 품목  $i$ 의 평균 연간 수요  $D_i$ 로 나누면, 품목  $i$ 가 한 단위 부재고 일 때, 품목  $i$ 의 한 단위 당 평균 손실이익과 다른 품목들에 의한 추가적인 평균 판매손실 비용이 구해진다.

이제 품목  $i$ 의 평균 손실이익을 빼면, 다음과 같이 다른 품목들에 의해 발생한 추가적인 평균 판매손실 비용을 구할 수 있다.

$$\alpha_i = \frac{1}{D_i} \sum_{j \in J_i} \frac{p_{ij}}{\sum_{k \in O_j} p_k} D_j \pi_j \quad (4)$$

품목  $i$ 의 평균 연간비용은 다음과 같이 표현된다.

$$K_i = \frac{C_{oi}}{T_i} + C_{hi} \left( R_i - \mu_i - \frac{D_i T_i}{2} + B_i(R_i; T_i) \right) + \frac{C_{li}}{T_i} B_i(R_i; T_i) \quad (5)$$

여기서

$$C_{li} = s_i - C_{pi} + C_{gi} + \alpha_i$$

주어진  $T$  값에 대해서 식 (5)을 최소화하는  $R$ 의 값은 다음의 식을 만족시켜야 한다.

$$\hat{H}_i(R_i; T_i) = \frac{C_{hi} T_i}{C_{li} + C_{hi} T_i} \quad (6)$$

<표 2> 3품목을 갖는 재고시스템의 예제

주문 유형	품목			비율	연간평균이익
	1	2	3		
1	1	0	0	$p_1$	$\frac{p_1}{p_1 + p_4 + p_5 + p_6} D_1 \pi_1$
2	0	1	0	$p_2$	$\frac{p_2}{p_2 + p_4 + p_6} D_2 \pi_2$
3	0	0	1	$p_3$	$\frac{p_3}{p_3 + p_5 + p_6} D_3 \pi_3$
4	1	1	0	$p_4$	$\frac{p_4}{p_1 + p_4 + p_5 + p_6} D_1 \pi_1 + \frac{p_4}{p_2 + p_4 + p_6} D_2 \pi_2$
5	1	0	1	$p_5$	$\frac{p_5}{p_1 + p_4 + p_5 + p_6} D_1 \pi_1 + \frac{p_5}{p_3 + p_5 + p_6} D_3 \pi_3$
6	1	1	1	$p_6$	$\frac{p_6}{p_1 + p_4 + p_5 + p_6} D_1 \pi_1 + \frac{p_6}{p_2 + p_4 + p_6} D_2 \pi_2 + \frac{p_6}{p_3 + p_5 + p_6} D_3 \pi_3$



**정리 2 :** 구매종속성이 존재하는 상황에서 만족되지 않은 주문이 부분 부재고로 분류되어 드롭-배송 옵션으로 충족될 경우,  $C_{li} = (s_i - C_{pi} + C_{gi} + \alpha_i) - \beta(s_i - C_{pi} + C_{gi} + \alpha_i + s_i - C_{di})$ .

**증명 :** 정리 1과 같은 방식으로 증명이 가능하여 생략.

정리 1과 유사하게 만일  $\beta = 0$ 이면, 정리 2에 있는  $C_{li}$ 은 식 (5)에 있는  $C_{li}$ 과 같아진다. 따라서 만족되지 않은 주문을 부분 부재고로 드롭-배송 옵션으로 충족함으로써 평균 연간비용을 절감할 수 있다.

**보조정리 2 :** 구매종속성이 존재하는 상황에서 드롭-배송 옵션에 지불할 최대비용은  $s_i - C_{pi} + C_{gi} + \alpha_i + s_i$ .

**증명 :** 보조정리 1과 같은 방식으로 증명이 가능하여 생략.

보조정리 2은 드롭-배송 옵션을 활용하는 것이 이익이 되기 위해서는  $C_{di}$ 에 얼마까지 지불하여야 하는 지를 보여준다. 구매종속성이 존재할 경우 소매업자가 보조정리 1과 비교하여 드롭-배송 옵션에 줄더 비용을 지불한다고 하여도 드롭-배송 옵션으로부터 혜택을 받을 수 있음을 알 수 있다.

#### 4. 수치적 분석

본 장은 수치적 예제를 이용하여 부분 부재고를 처리하는 드롭-배송과 구매종속성의 효과를 보여준다. 우선 재고부족 시 판매손실로 처리하는 재고모형과 부분 부재고를 허용하여 드롭-배송 옵션으로 처리하는 재고모형의 성과를 비교함으로써 부분 부재고를 처리하는 드롭-배송의 효과를 보여준다. 다음으로 박창규, 서준용[2]이 제시한 구매종속성의 영향을 재평가하고, 마지막으로 구매종속성만

을 고려한 모형과 구매종속성이 존재하는 상황에서 드롭-배송 옵션을 고려한 재고모형의 성과를 비교한다.

본 논문은 구매종속성이 존재하는 3품목을 다루는 재고시스템을 고려한다. 재고모형에 대한 모수의 값은 <표 3>에서 보여준다. 연간 고객수요의 수는 평균이 600이고 분산이 900인 정규분포를 따른다고 가정한다. 고객수요의 주문유형은 <표 2>에 있는 6가지의 주문유형 중에 하나이다. 총 연간 고객수요에 있는 주문유형의 비율은 구매종속성의 정도에 따라 결정된다.

<표 3> 재고모형 대한 모수값

모수	품목		
	1	2	3
$C_o$	100	100	100
$C_h$	20	30	40
$s$	130	195	260
$C_p$	100	150	200
$C_d$	140	200	270
$C_g$	30	30	30

본 논문에서는 구매종속성의 정도를 측정하는 척도로서 Tsai et al.[23]가 제안한 비유사도(dissimilarity) 개념을 이용한다. 연관성 군집 알고리즘을 개발하면서 Tsai et al.[23]은 비유사도를 (1-지지도)로 정의 하였다. 지지도는 데이터 마이닝 기법의 한 유형인 연관성 규칙에 의해 정의된다. 품목그룹  $X$ 의 지지도는 주문 데이터베이스에서 품목그룹  $X$ 를 포함하고 있는 주문의 비율로 정의된다. 즉, 품목그룹  $X$ 의 지지도는  $|품목그룹 X|/주문 데이터베이스$ 와 같다, 여기서  $|품목그룹 X|$ 는 품목그룹  $X$ 에 있는 원소의 수이고,  $|주문 데이터베이스|$ 는 품목그룹  $X$ 을 포함하는 주문 데이터베이스에 있는 원소의 수이다. 지지도의 값이 0과 1사이이기 때문에 비유사도의 값도 0과 1의 범위에 있다. 0의 값에 가까운 비유사도는 품목그룹이 주문수요의 관점에서 긴밀히 연관되어 있음을 나타낸다. 반면 1의 값에 가까운 비유사도는 품목그룹이 매우 낮은 수요

관계를 가진다는 것을 나타낸다.

본 절은 3가지 비유사도를 고려한다. 각각의 비유사도에 대해, 본 절은 <표 2>에 있는  $p_0$ 에 (1-비유사도)의 값을 할당하고, 편의를 피하기 위하여 나머지 값은 각  $p_i$ 에 균등하게 할당한다. 주문유형에 따라 고객주문은 해당하는 품목들을 한 단위를 요구한다고 가정한다. 예를 들어, <표 2>에 있는 주문유형 4의 고객주문은 품목 1과 품목 2를 한 단위씩 요구한다. <표 4>는 비유사도에 따라 각 품목들의 연간수요를 보여준다. 예를 들어, 비유사도가 0.3일 때,  $D_1$ 의 평균은  $600 \times ((0.3/5) \times 3 + 0.7) = 528$ 이고,  $D_1$ 의 분산은  $900 \times ((0.3/5) \times 3 + 0.7) = 792$  (즉, 표준편차 = 28.143)이다. 따라서  $D_1$ 은 평균이 528이고 분산이 792(표준편차 = 28.143)인 정규분포를 따른다. 각 품목의 재고 보충 조달기간은 1/30으로 설정한다.

<표 4> 비유사도에 따른 연간수요

비유사도	$D_1$		$D_2$		$D_3$	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
0.3	528.00	28.14	492.00	27.17	492.00	27.17
0.5	480.00	26.83	420.00	25.10	420.00	25.10
0.8	408.00	24.74	312.00	21.63	312.00	21.63

4.1 부분 부재고를 처리하는 드롭-배송의 효과

부분 부재고를 처리하는 드롭-배송의 효과를 살펴보기 위하여 본 절은 재고부족 시 판매손실로 처리하는 재고모형과 부분 부재고를 허용하여 드롭-배송 옵션으로 처리하는 재고모형의 성과를 비교한다. 여기서 본 논문은 비유사도가 0.3인 경우를 고려한다(다른 비유사도의 경우도 비슷한 결과를 보여준다).

주어진  $T_i$ 의 값에 대하여(즉,  $T_i = 1/10$ ), 식 (3)을 이용하여 재고부족 시 판매손실로 처리하는 경우와 부분 부재고를 드롭-배송 옵션으로 처리하는 경우에 대해 최대재고 수준  $R_i$ 을 계산한다. 예를 들어, 품목 1의 ( $T_1$ +재고보충 조달기간) 동안의 기대수요는  $528 \times (1/10 + 1/30) = 70.4$ 이고, 같은 기간 동안에 품목

1의 분산은  $(28.14)^2 \times (1/10 + 1/30) = 105.6$ (즉, 표준편차 = 10.276)이다. 따라서 식 (3)으로부터  $R_i$ 은 다음의 해이다.

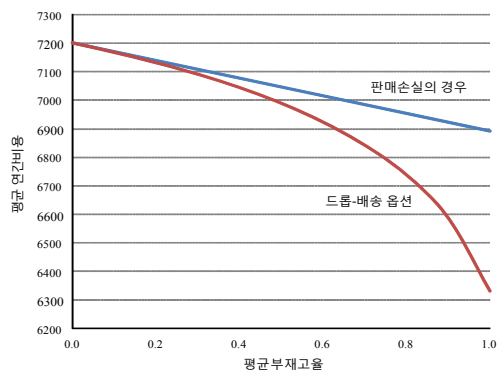
$$\Phi\left(\frac{R_i - 70.4}{10.276}\right) = \frac{C_{h1} T_1}{C_{h1}^d + C_{h1} T_1} = \frac{20 \times \frac{1}{10}}{60 + 20 \times \frac{1}{10}} = 0.03225$$

여기서  $\Phi(r) = \int_r^\infty \phi(x) dx$ 이고  $\phi(x)$ 는 표준정규 분포이다. 정규분포표로부터

$$\frac{R_i - 70.4}{10.276} = 1.8485$$

즉,  $R_i \approx 89$ .

<표 5>는 판매손실로 처리하는 (R, T) 모형과 평균 부재고율을 0에서부터 1까지 0.1단위로 증가 시켜가며 드롭-배송 옵션을 활용한 (R, T) 모형에 의해 결정된 최적 재고정책을 보여준다. 또한, 부분 부재고가 드롭-배송 옵션으로 처리되는 상황에서 <표 5>은 각 최적 재고정책의 총 평균 연간비용을 보여준다. <그림 2>은 평균 부재고율에 대응한 총 평균 연간비용을 그래프로 보여준다. <표 5>와 <그림 2>로부터 우리는 드롭-배송 옵션을 활용하면 좀 더 많은 수익을 실현할 수 있음을 알 수 있다.



<그림 2> 총 평균 연간비용

〈표 5〉 판매손실과 드롭-배송 옵션에 대한 성과 비교

$\beta$	판매손실의 경우				드롭-배송 옵션				비용 절감			
	품목 1		품목 2		품목 3		총 연간 비용					
	R	K	R	K	R	K	R	K				
0.0	1988.81	2384.05	2829.49	7202.35	89	1988.81	83	2384.05	83	2829.49	7202.35	0.00
0.1	1981.65	2372.92	2816.77	7171.34	89	1981.65	83	2372.92	82	2814.89	7169.46	1.88
0.2	1974.49	2361.78	2804.05	7140.32	89	1974.49	82	2360.15	82	2798.62	7133.26	7.05
0.3	1967.33	2350.65	2791.33	7109.30	88	1965.74	82	2345.92	81	2780.58	7092.24	17.07
0.4	1960.16	2339.52	2778.60	7078.28	88	1956.62	81	2328.98	81	2759.94	7045.54	32.74
0.5	89 1953.00	83 2328.39	83 2765.88	7047.27	87	1945.32	80	2309.59	80	2735.30	6990.22	57.05
0.6	1945.84	2317.25	2753.16	7016.25	86	1932.58	79	2285.93	79	2706.46	6924.96	91.29
0.7	1938.68	2306.12	2740.43	6985.23	85	1917.28	78	2255.64	78	2670.84	6843.77	141.46
0.8	1931.51	2294.99	2727.71	6954.21	84	1898.00	76	2215.79	77	2625.26	6739.05	215.17
0.9	1924.35	2283.86	2714.99	6923.20	83	1872.95	74	2154.68	75	2560.84	6588.47	334.72
1.0	1917.19	2272.72	2702.27	6892.18	80	1836.35	69	2039.08	71	2456.28	6331.71	560.46

보조정리 1에서 드롭-배송 옵션을 활용하여 혜택을 보려면  $C_d \leq s - C_p + C_g + s$ 의 조건이 만족되어야 한다고 언급하였다. 여기서 본 절은 수치적 예제로 그 조건을 살펴보고자 한다. <그림 3>는 품목 1에 대해 드롭-배송 옵션을 활용함에 따른 비용절감의 등고선을  $C_d$ 와  $\beta$ 에 대응시켜 보여준다.  $C_d = 190$ 과  $\beta = 0$ (굵은 선)일 때, 판매손실로 처리하는 (R, T) 모형과 드롭-배송 옵션을 활용한 (R, T) 모형의 성과에는 차이가 없다.  $C_d < 190$ 일 때, 드롭-배송 옵션을 활용함에 따른 혜택(즉, 비용절감)이 나타난다. 그러나 다른 경우에는 드롭-배송 옵션을 활용함

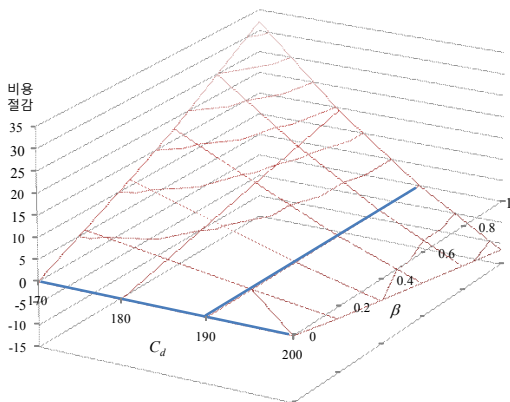
에 따라 부정적인 효과가 발생한다. 따라서 품목 1에 대한  $C_d$ 의 최대값은 190, 즉  $C_d \leq s - C_p + C_g + s$ 이다.

#### 4.2 구매종속성의 영향

구매종속성의 영향을 살펴보기 위하여 본 절에서는 제 3.1절과 제 3.2절에서 기술한 (R, T) 모형에 의해 결정된 최적 재고정책을 이용하여 재고시스템에 대한 모의실험을 실시한다. 주어진  $T_i$ 의 값에 대하여(즉,  $T_i = 1/10$ ), 최대재고수준  $R_i$ 는 구매종속성을 무시하는 (R, T) 모형의 경우는 식 (3)을 이용하고, 구매종속성을 고려하는 (R, T) 모형의 경우는 식 (6)을 이용하여 계산한다.

구매종속성이 존재할 경우에 품목  $i$ 가 한 단위 부재고 일 때 다른 품목에 의해 발생하는 추가적인 평균 판매손실 비용  $\alpha_i$ 는 식 (4)에 의해 계산된다. <표 6>은 3가지의 비유사도에 따른 각 품목의 추가적인 평균 판매손실 비용을 보여준다. 그리고 앞의 두 (R, T) 모형에 의해 구해진 최적 재고정책은 <표 7>에 나타나 있다.

모의실험은 다음과 같이 설계되었다. 일 년에 300일의 작업 일이 있는 것으로 가정하였다. 연간 고객수요의 수가 평균이 600이고 분산이 900인 정규 분포를 따르는 것으로 가정하였으므로 매일의 주



〈그림 3〉 비용절감의 등고선

문수요는 평균이 2이고 분산이 3인 정규분포를 이용하여 무작위로 발생시켰다. 무작위 수는 가까운 정수로 전환시키고, 0보다 작으면 0으로 설정하였다. 각 주문은 비유사도에 의해 결정된 비율에 근거하여 <표 2>에 있는 6가지의 주문유형 중에 하나가 되도록 무작위로 할당하였다. 각 비유사도에 대해서 5개의 데이터 세트를 생성하였다.

<표 6> 추가적인 평균 판매손실 비용

비유사도	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
0.3	90.68	79.02	66.22
0.5	78.75	68.57	57.86
0.8	55.59	43.85	38.08

각 비유사도에 있는 5개의 데이터 세트에 대해서 컴퓨터 모의실험을 10,000일 동안 실시하고, 통계치는 1,000일 후부터 수집하였다. 재고시스템은 구매종속성이 존재하는 환경에서 운영되었다. <표 7>은 모의실험의 결과를 보여준다.

<표 7>은 박창규, 서준용[2]이 연구한 구매종속성의 영향을 재확인 시켜준다. <표 7>은 구매종속성을 고려한 재고모형이 구매종속성을 무시한 재고모형보다 재고운영비용을 보다 적게 발생시키는 것을 보여준다. 일반적으로 구매종속성을 고려한 재고모형은 재고를 좀 더 유지함으로써 판매손실을 감소시키고, 결과적으로 평균 총 비용을 감소시킨다. 모의실험 결과는 재고관리에서 구매종속성을 고려하는 것이 중요하다는 것을 입증한다.

### 4.3 구매종속성이 존재하는 상황에서 드롭-배송 옵션의 효과

제 4.1절은 드롭-배송 옵션을 활용하면 좀 더 많은 수익을 실현할 수 있음을 보여주었고, 제 4.2절은 구매종속성을 고려한 재고모형이 구매종속성을 무시한 재고모형보다 재고운영비용을 보다 적게 발생시키는 것을 보여주었다. 앞의 두 결과로부터 우리는 드롭-배송 옵션을 활용하면서 동시에 구매종속성을 고려하면 좀 더 많은 수익을 실현할 수 있을 것이라는 것을 유추할 수 있다. 본 절은 구매종속성을 고려하면서 드롭-배송 옵션을 활용하는 재고모형의 성과를 보여줌으로써 앞의 유추를 지원하고자 한다.

구매종속성이 존재하고 부분 부재고가 드롭-배송 옵션으로 처리되는 환경에서 <표 8>은 주어진  $T_i$ 의 값에 대하여(즉,  $T_i = 1/10$ ), 식 (6)에 의해 결정된 최적 재고정책의 총 평균 연간비용을 보여준다. <그림 4>은 3개의 비유사도에 대해서 평균 부재고율에 따른 비용절감의 그래프를 보여준다. <표 8>과 <그림 4>으로부터 우리는 구매종속성을 고려하면서 드롭-배송 옵션을 활용하면 좀 더 많은 수익을 실현할 수 있음을 확인할 수 있다. 추가로, 비유사도가 감소함에 따라 일반적으로 비용절감이 증가함을 확인할 수 있다.

## 5. 결 론

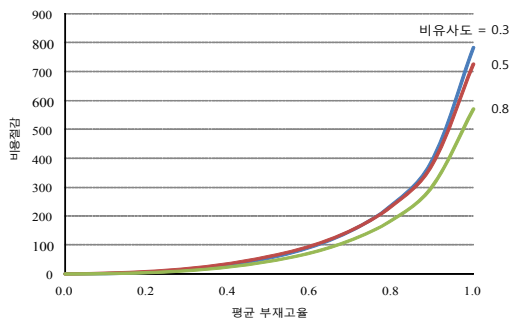
본 논문은 어떤 품목의 구매가 같은 주문서에 있

<표 7> (R, T) 모형의 모의실험 결과

비유사도	구매종속성	재고정책			평균비용			
		품목 1	품목 2	품목 3	재고유지	판매손실	절감	
0.3	무시	R	89	83	83	3781.10	525.42	109.12
	고려	R	93	86	85	4016.56	180.84	
0.5	무시	R	82	72	72	3377.46	447.51	82.86
	고려	R	85	75	74	3600.72	141.39	
0.8	무시	R	71	56	55	2778.52	383.79	112.92
	고려	R	74	57	56	2888.56	160.83	

〈표 8〉 구매종속성이 존재하는 상황에서 판매손실과 드롭-배송 옵션에 대한 성과 비교

비유사도	구매종속성			구매종속성하에 드롭-배송 옵션			비용절감		
	0.3	0.5	0.8	0.3	0.5	0.8	0.3	0.5	0.8
$\beta$									
0.0	7432.75	6963.25	6221.02	7432.75	6963.25	6221.02	0.00	0.00	0.00
0.1	7400.99	6935.31	6194.60	7400.99	6933.24	6193.13	0.00	2.07	1.47
0.2	7369.23	6907.37	6168.19	7364.80	6898.39	6164.36	4.43	8.99	3.83
0.3	7337.47	6879.44	6141.77	7323.30	6861.60	6130.23	14.16	17.84	11.54
0.4	7305.70	6851.50	6115.35	7275.18	6815.52	6091.60	30.52	35.98	23.75
0.5	7273.94	6823.56	6088.93	7219.45	6762.87	6044.95	54.50	60.70	43.99
0.6	7242.18	6795.63	6062.52	7150.70	6699.56	5990.15	91.48	96.07	72.37
0.7	7210.42	6767.69	6036.10	7061.47	6617.32	5918.93	148.95	150.37	117.17
0.8	7178.66	6739.75	6009.68	6940.57	6505.18	5823.90	238.09	234.57	185.78
0.9	7146.89	6711.82	5983.27	6751.04	6331.93	5679.09	395.85	379.89	304.18
1.0	7115.13	6683.88	5956.85	6331.71	5958.65	5386.67	783.42	725.23	570.17



〈그림 4〉 비용절감의 비교

는 다른 품목의 가용성에 의존할 때 일어나는 현상인 구매종속성을 다루었다. 재고보충정책을 설계하는데 아주 중요한 요소임에도 불구하고, 아직 구매종속성은 심도 있게 다루어지고 있지 않는 실정이다. 구매종속성이 존재하는 상황에서 재고부족이 발생했을 때, 전체 주문이 취소되는 판매손실을 다룬 재고모형을 제시한 첫 연구는 박창규, 서준용[2]에 의해 수행되었다. 다음으로 박창규[1]는 구매종속성이 존재하는 상황에서 재고부족이 발생했을 때, 부재고와 판매손실이 결합된 경우인 부분 부재고를 다룬 확정적 EOQ 모형을 제시하였다. 그러나 본 논문은 구매종속성이 존재하는 상황에서 부분 부재고를 드롭-배송 옵션으로 처리하는 (R, T) 모형을 개발하였다.

부분 부재고를 처리하는 드롭-배송과 구매종속성의 효과를 보여주기 위하여 본 논문은 수치적 분석을 통하여 우선부분 부재고를 처리하는 드롭-배송의 효과를 검토하였고, 다음으로 구매종속성의 영향을 재평가 하였다. 마지막으로 본 논문은 구매종속성이 존재하는 상황에서 드롭-배송의 효과를 검토하였다. 수치적 분석 결과, 구매종속성을 고려하면서 드롭-배송 옵션을 활용하면 좀 더 많은 수익을 실현할 수 있음을 확인할 수 있었고, 추가로, 비유사도가 감소함에 따라 일반적으로 비용절감이 증가함을 확인할 수 있었다. 다시 말해서, 품목그룹이 주문수요의 관점에서 더욱 긴밀히 연관될수록 재고운영비용에 미치는 구매종속성의 영향은 더 뚜렷해 질 수 있다는 것이다.

### 참고 문헌

- [1] 박창규, “구매종속성을 고려한 부분 부재고 재고모형”, 『한국경영과학회지』, 제39권, 제1호 (2014), pp/83-100.
- [2] 박창규, 서준용, “구매종속성이 재고관리에 미치는 영향”, 『경영과학』, 제3권, 제3호(2013), pp.17-31.
- [3] Agatz, N.A.H., M. Fleischmann, and J.A.E.E.

- van Nunen, "E-fulfillment and multi-channel distribution : a review," *European Journal of Operational Research*, Vol.187, No.2(2008), pp.339-356.
- [4] Ayanso, A., M. Diaby, and S.K. Nair, "Inventory rationing via drop-shipping in Internet retailing : a sensitivity analysis," *European Journal of Operational Research*, Vol.171, No1(2006), pp.135-152.
- [5] Bailey, J.P. and E. Rabinovich, "Internet book retailing and supply chain management : an analytical study of inventory location speculation and postponement," *Transportation Research Part E*, Vol.41, No.3(2005), pp.159-177.
- [6] Bala, P.K., "An inventory replenishment model under purchase dependency in retail sale," *International Journal of Computer Applications*, Vol.37, No.10(2012), pp.43-48.
- [7] Bala, P.K., "Identification of purchase dependencies in retail sale," *International Journal of Strategic Management*, Vol.8, No.2 (2008), pp.75-83.
- [8] Bala, P.K., S. Sural, and R.N. Banerjee, "Association rule for purchase dependence in multi-item inventory," *Production Planning and Control*, Vol.21, No.3(2010), pp.274-285.
- [9] Biyalogorsky, E. and P. Naik, "Clicks and mortar : the effect of on-line activities on off-line sales," *Marketing Letters*, Vol.14, No.1(2003), pp.21-32.
- [10] Chen, J., Y. Chen, M. Parlar, and Y. Xiao, "Optimal inventory and admission policies for drop-shipping retailers serving in-store and online customers," *IIE Transactions*, Vol.43, No.5(2011), pp.332-347.
- [11] De Koster, R.M.B.M., "Distribution strategies for online retailers," *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.50, No.4(2003), pp.448-457.
- [12] Gulati, R. and J. Garino, "Get the right mix of bricks and clicks," *Harvard Business Review*, Vol.78, No.3(2000), pp.107-114.
- [13] Hadley, G. and T.M. Whitin, *Analysis of Inventory Systems*, Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall, 1963.
- [14] Hovelague, V., L.G. Soler, and S. Hafsa, "Supply chain organization and e-commerce : a model to analyze store-picking," *warehouse-picking and drop-shipping 4OR*, Vol.5, No.2(2007), pp.143-155.
- [15] Khouja, M. and A.C. Stylianou, "A (Q, R) inventory model with a drop-shipping option for e-business," *Omega*, Vol.37, No.4 (2009), pp.896-908.
- [16] Khouja, M., "The evaluation of drop shipping option for e-commerce retailers," *Computer and Industrial Engineering*, Vol.41, No.2(2001), pp.109-126.
- [17] Lee, C.C. and W.H.J. Chu, "Who should control inventory in a supply chain?," *European Journal of Operational Research*, Vol.164, No.1(2005), pp.158-172.
- [18] Netessine, S. and N. Rudi, "Supply chain choice on the Internet," *Management Science*, Vol.52, No.6(2006), pp.844-864.
- [19] Pentico, D.W. and M.J. Drake, "The deterministic EOQ with partial backordering : A new approach," *European Journal of Operational Research*, Vol.194, No.1(2009), pp. 102-113.
- [20] Randall, T., S. Netessine, and N. Rudi, "An empirical examination of the decision to invest in fulfillment capabilities : a study of Internet retailers," *Management Science*, Vol.52, No.4(2006), pp.567-580.

- [21] Randall, T., S. Netessine, and N. Rudi, "Should you take the virtual fulfillment path?," *Supply Chain Management Review*, Vol.6, No.6(2002), pp.54-58.
- [22] Steinfield, C., H. Bouwman, and T. Adelaar, "The dynamics of Click-and-Mortar electronic commerce : opportunities and management strategies," *International Journal of Electronic Commerce*, Vol.7, No.1(2002), pp. 93-119.
- [23] Tsai, C.Y., C.Y. Tsai, and P.W. Huang, "An association clustering algorithm for can-order policies in the joint replenishment problem," *International Journal of Production Economics*, Vol.117, No.1(2009), pp.30-41.
- [24] Xiao, Y., F.Y. Chen, and J. Chen, "Optimal inventory and dynamic admission policies for a retailer of seasonal products with affiliate programs and drop-shipping," *Naval Research Logistics*, Vol.6, No.4(2009), pp. 300-317.
- [25] Yao, D.Q., H. Kurata, and S.K. Mukhopadhyay, "Incentives to reliable order fulfillment for an Internet drop-shipping supply chain," *International Journal of Production Economics*, Vol.113, No.1(2008), pp.324-334.

## 〈부록 A〉

**정리 1의 증명** : 평균 부재고율은 0 과 1 사이에 있는 상수라고 가정한다 ( $0 < \beta < 1$ ). 제 3.1절에서 기술한 (R, T) 모형과 유사하게 평균 연간이익  $P$ 는 판매수익에서 주문비용과 재고유지비용 및 판매손실 비용을 차감한 것과 같다. 그러나 판매수익과 판매손실 비용은 드롭-배송 옵션에 의해 처리된 부분 부재고를 반영하여야 한다. 그러면

$$\begin{aligned}
 P &= (s - C_p) \left( D - (1 - \beta) \frac{B(R; T)}{T} \right) + (s - C_d) \beta \frac{B(R; T)}{T} \\
 &\quad - \frac{C_o}{T} - C_h \left( R - \mu - \frac{DT}{2} + B(R; T) \right) - (1 - \beta) \frac{C_g}{T} B(R; T) \\
 &= (s - C_p) D - \frac{C_o}{T} - C_h \left( R - \mu - \frac{DT}{2} + B(R; T) \right) \\
 &\quad - \frac{(s - C_p + C_g) - \beta(s - C_p + C_g + s - C_d)}{T} B(R; T)
 \end{aligned} \tag{A1}$$

판매손실 비용은 식 (A1)의 마지막 항에 있는 분자에 해당하므로

$$C_l = (s - C_p + C_g) - \beta(s - C_p + C_g + s - C_d)$$

**보조정리 1의 증명** : 일반적으로  $C_p \leq C_d$ 임을 알 수 있다. 한편, 드롭-배송 옵션으로부터 혜택을 받기 위해서는 (정리 1에 있는  $C_l$ )  $\leq$  (식 (2)에 있는  $C_l$ )을 만족시켜야 한다. 따라서,  $C_d$ 의 최대값은 다음과 같다.

$$C_d \leq s - C_p + C_g + s$$