

온라인 쇼핑몰의 브랜드 중심 창고관리 기법에 대한 연구

송 용 옥* · 안 병 혁**

A Study on the Brand-based Warehouse Management in Online Clothing Shops

Yong Uk Song* · Byung-Hyuk Ahn**

Abstract

As the sales volume of online shops increases, the job burden in the back-offices of the online shops also increases. Order picking is the most labor-intensive operation among the jobs in a back-office and mid-size pure click online shops are experiencing the time delay and complexity in order picking nowadays while fulfilling their customers' orders. Those warehouses of the mid-size shops are based on manual systems, and as order pickings are repeated, the warehouses get a mess and lots of products in those warehouses are getting missing, which results in severe delay in order picking. To overcome this kind of problem in online clothing shops, we research a methodology to locate warehousing products. When products arrive at a warehouse, they are packed into a box and located on a rack in the warehouse. At this point, the operator should determine the box to be put in and the location on the rack for the box to be put on. This problem could be formulated as an Integer Programming model, but the branch-and-bound algorithm to solve the IP model requires enormous computation, and sometimes it is even impossible to get a solution in a proper time. So, we relaxed the problem, developed a set of heuristics as a methodology to get a semi-optimum in an acceptable time, and proved by an experiment that the solutions by our methodology are satisfactory and acceptable by field managers.

Keywords : Brand, Online shop, Order picking, Reallocation, Storage location assignment, Warehouse

논문접수일 : 2011년 02월 14일 논문게재확정일 : 2011년 03월 09일

※ 이 연구는 연세대학교 매지학술연구소 학술지원비로 이루어졌음.

* 연세대학교 원주캠퍼스 경영학부 교수, e-mail : yusong@yonsei.ac.kr

** 경상대학교 경영정보학과 교수, e-mail : bahn@gnu.ac.kr

1. 서론

소비자 대상 전자상거래의 규모가 커지면서 인터넷 쇼핑몰 관리 업무도 날로 대량화, 복잡화 되고 있다. 특히, 소비자의 주문 내용에 맞추어 창고에서 상품을 찾아서 포장하고 발송하는 일은 상품의 품목 및 수량이 커짐에 따라 더욱더 복잡하고 시간이 많이 드는 일이 되고 있다. 창고가 매장의 재고지원 기능을 하며 상품은 매장에서 주로 빠져나가는 기존 오프라인 매장과 달리 인터넷 쇼핑몰의 창고는 그 자체가 각각의 판매건 별로 상품이 빠져나가는 상품 저장소이다. 오프라인 상점의 경우 주기적으로 매장의 재고 현황을 파악하여 부족한 부분만큼 창고에서 반출하여 한꺼번에 매장으로 가져오면 되므로, 오프라인 상점의 창고관리 문제는 상품수요 예측 및 이에 따른 안전재고의 관리가 주요 문제가 된다. 이에 반하여 인터넷 쇼핑몰의 창고 관리는 배송 업무의 효율성과 긴밀한 관계를 갖는다. 넓은 창고 내에서 주문된 상품재고를 효율적으로 검색, 반출하는 업무는 포장 및 택배 업무 이상의 업무 처리 시간을 필요로 한다. 주문 상품 반출(order picking)-특정 고객의 요구에 맞추어 저장소(또는 버퍼 지역)로부터 상품을 꺼내는 작업-은 수작업에 의존한 창고에서는 많은 인력과 시간이 요구되는 가장 노동집약적인 업무이며, 자동화된 창고에서는 고가의 자동화 장비 설치를 위해 많은 비용이 요구되는 가장 자본집약적인 업무이다. 따라서 창고관리 전문가들은 생산성 향상 측면에서 주문상품 반출 작업을 가장 중요하게 생각한다[Koster et al., 2007; Goetschalckx and Ashayeri, 1989; Drury, 1988; Tompkins et al., 2003].

대형의 자동화된 창고를 갖춘 대형 유통점이 인터넷에도 개설한 인터넷 쇼핑몰(click and mortar)과 달리 아직은 모든 것을 수작업으로 처리하는

우리나라 대부분의 중소규모의 인터넷 전용 쇼핑몰(pure click)들은 매출규모의 증대에 따라 창고관리의 복잡성이라는 새로운 문제를 경험하고 있다. 그러나, 주문 상품 반출과 관련된 대부분의 기존 연구들은 기존의 오프라인 대형 유통점의 창고관리를 위주로 하고 있으며, 빈번한 소량 상품 반출, 컴퓨팅 파워의 부족, 수작업 등을 특징으로 갖는 중소규모 인터넷 쇼핑몰의 창고관리에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 의류 인터넷 쇼핑몰을 중심으로 빈번한 소량 상품 반출, 컴퓨팅 파워의 부족, 수작업 등의 특수성을 고려하면서 그 효율적인 창고 관리 기법을 고안해 보고자 한다.

인터넷 쇼핑몰 창고의 특징은 일반 창고에 비해 입고 횟수에 비해 출고 횟수가 월등히 많고, 각 출고는 다품종소량의 상품을 대상으로 한다는 것이다. 다품종 소량의 상품을 다수 회 출고하다 보면 상품이 서로 섞이는 문제가 필연적으로 발생하게 되고, 이것은 나중에 원하는 상품을 못 찾는 문제를 발생시키게 된다. 또한, 창고 공간의 부족으로 입고된 상품을 두어야 할 자리에 두지 못하는 상황도 자주 발생하게 되고, 이것은 상품 검색 효율성을 악화시키는 또 다른 요인이 된다. 이에 대처하기 위해 창고관리자는 몇 가지 기본 대처 방안을 마련하여 시행하는데, 그 대표적인 방안은 상품들을 동일 브랜드끼리 모아 두는 것이다. 즉, 같은 상품은 아니더라도, 같은 브랜드의 상품끼리 모아 두는 원칙만 세워두면 상품 반출자들이 상품 반출 중 다른 브랜드의 상품을 발견하였을 경우 해당 브랜드의 상품의 위치로 옮겨두게만 해도 적어도 나중에 상품을 못 찾는 일은 상당히 막을 수 있게 된다. 만약 같은 브랜드가 아닌 같은 상품끼리 모아 두는 것으로 원칙을 세운다면 상품을 못 찾는 일은 발생하지 않겠지만, 상품 반출자들이 같은 상품을 찾기 위해 많은 시간을 소모

해야 하는 경우가 빈번하게 발생하므로 오히려 비효율적이 된다. 이런 이유에서 보통 동일 브랜드끼리 상품을 모아 두도록 상품 반출자들에게 지시하고 있지만 이런 관리원칙에도 불구하고 제자리에 없는 상품들은 많이 발생하게 되고, 이 때문에 창고 관리자는 1년에 수차례씩 창고 내의 모든 상품들을 다시 정리하여 배치하는 작업을 수행해야 하며, 이것은 결국 업무 시간을 늘리고 비용을 증대시키는 결과를 가져오게 된다. 또한, 이러한 창고 전체 재배치와 그 다음 재배치 사이 기간 중에 주문처리를 위해 상품을 반출하려고 할 때 원하는 상품을 제 위치에서 찾지 못함으로써 발생하는 업무 비효율성은 쇼핑몰의 생산성 향상에 큰 저해 요인이 된다.

본 논문은 이러한 빈번한 소량 상품 반출, 컴퓨팅 과위의 부족, 수작업 등의 특징을 갖는 인터넷 쇼핑몰의 창고 관리 및 주문상품 반출 문제를 풀기 위한 방법론을 제시하고, 그 방법론의 효율성을 검토한다. 이를 위해 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장에서는 우선 관련 문헌들을 살펴보고, 제 3장에서는 문제정의, 최적화 모델링, 문제완화 등에 관한 기존연구와 함께, 신규 브랜드 처리 등을 포함한 상품 입고 및 배치 방법론을 설명한다. 제 4장에서는 제안된 방법론의 타당성을 실험에 의하여 검토하고, 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺도록 한다.

2. 문헌 연구

2.1 창고 관리와 주문상품 반출

창고에서 주문된 상품을 반출하는 과정을 효율화하기 위하여 주문상품 반출(order picking)에 대해 연구한 기존 문헌들은 크게 두 가지 측면에서 접근하고 있다. 하나는 재고 상품(SKU,

stock keeping unit)을 창고의 특정 위치에 배치(assign)하는 배치문제를 연구하는 것이며, 다른 하나는 SKU들의 배치가 주어진 상태에서 각 주문 상품을 반출하기 위해 창고를 돌아다니고, 상품 정보를 파악하거나, 기타 필요한 행동들을 하기 위해 소요되는 시간을 최소화하기 위해 유사한 주문끼리 묶어서 일괄적으로 처리하는(order batching) 문제를 연구하는 것이다 [송용욱, 안병혁, 2010; Brynzer, 1996; Koster et al., 2007].

상품 배치 전략은 임의배치(randomized storage), 최전방 여유 공간 배치, 지정배치(dedicated storage), 클래스 별 배치(class-based storage, family-products-based storage), 규모기반 배치(volume-based storage, turnover-based storage) 등으로 분류된다[Koster et al., 2007; Merkurjev, 2009; Roodbergen, 2001]. 임의배치 전략은 상품들을 임의로 선택된 장소에 배치하는 것이고, 최전방 여유 공간 배치는 가장 앞쪽의 빈 공간에 배치하는 것이며, 지정배치 전략은 상품별로 미리 정해진 고정 장소에 배치하는 것이다. 클래스 별 배치 전략은 SKU를 몇 개의 클래스로 분류하고, 각 클래스에 대해 고정된 장소를 지정한 후, 각 클래스 장소 내에서 임의배치 전략을 적용한다. 규모기반 배치 전략은 자주 반출되는 상품(즉, 상품 규모) 순으로 상품을 배치하는 전략이다. White and Kinney[1982]는 클래스 별 배치 전략에 비하여 임의 배치 전략이 저장 공간을 덜 필요로 한다고 지적한 반 있다. 반면에, 임의배치 전략에 비하여 클래스 별 배치 전략은 주문 상품반출을 위한 이동 시간을 감소시킨다.

주문 일괄 처리(order batching) 문제는 주문 상품반출 지시서에 따른 한 번의 작업 동안 반출자(order picker)가 움직여야 하는 동선 길이의 평균을 최소화하는 문제로 모형화 된다. 이 모형은 창고 내 상품 적재 선반의 배치 및 이에

〈표 1〉 주문상품 반출에 대한 기존 연구

접근 방법	제안 기법	관련 문헌
상품 배치	임의배치	Heskett[1963] Koster et al.[2007] Merkuryev[2009] Roodbergen[2001]
	최전방 여유 공간 배치	
	지정배치	
	클래스 별 배치	
	규모기반 배치	
주문 일괄 처리	EQUAL 알고리즘	Elsayed and Unal[1989]
	SL 알고리즘	
	MAXSAV 알고리즘	
	CWright 알고리즘	
	Clustering 알고리즘	Goetschalckx and Ratliff[1988]

따른 복도의 위치와 길이 등을 고려하여 만들게 되지만, 일반적으로 이러한 모형들은 풀기가 매우 어려운(NP-complete) 것으로 알려져 있다. 따라서, 지금까지의 연구들은 주로 주어진 상황을 고려하여 만족스러운 시간 내에 만족스러운 해를 찾아내는 휴리스틱의 개발에 초점을 맞추어 왔다. 주문 일괄 처리(order batching) 휴리스틱과 관련하여, Elsayed and Unal[1989]은 EQUAL 알고리즘, SL 알고리즘, MAXSAV 알고리즘, CWright 알고리즘 등을 기술하였으며, Goetschalckx and Ratliff[1988]는 최적의 정지 회수와 정지 위치, 그리고 매 정지마다 꺼내야 할 상품을 정하기 위한 알고리즘을 제시하였다. 또한 실제 상황에서는 종종 배치 정책과 주문 일괄처리 정책을 조합하기도 한다. 주문 상품반출에 걸리는 시간은 각 상품의 특징에 따라 SKU를 배치함으로써 감소될 수 있다. SKU를 배치하는 전통적인 방법은 상품의 사용률이나 회전율을 바탕으로 배치하는 것이다. 예를 들어 가장 자주 주문되는 상품을 입고 및 출고 장소의 제일 앞에 배치하는 것이다. 이것은 규모기반 배치 전략의 일환이며, 한 예로서 Heskett[1963]은 SKU 당 필요한 저장 공간(cube)과 SKU의 주문 빈도 간의 비율로 표현되는 주문 당 입방

면적 지수(COI, cube-per-order index)를 제안한 바 있다. COI 배치 정책에 따르면, SKU를 COI에 따라 정렬한 후, 가장 작은 COI를 갖는 SKU를 입고고 장소의 제일 앞에 배치하는 것이다. 상품 배치 전략 및 주문 일괄 처리에 대한 기존 연구들은 <표 1>에 정리되어 있다[송용욱, 안병혁, 2010].

창고관리와 관련한 국내 연구는 초기의 창고 위치 결정[박순달, 1983]에서 시작하여 주로 자동창고의 설치와 관리에 대한 연구[김창현, 2009; 김형욱, 황영룡, 1989; 문기주, 김광필, 2002; 이찬경 외, 1989]가 많이 이루어져 왔다. 최근에는 공급망 관리와 관련하여 공급원천과 재고를 통합적으로 관리하는 연구[김성철, 2007] 등도 이루어져 왔으나, 창고 내 저장공간 할당과 관련된 연구[박퇴경, 김갑환, 2007; 원승환, 김갑환, 2006]는 그 수 자체가 별로 없는 실정이다.

2.2 의류 쇼핑몰의 창고 관리

의류 인터넷 쇼핑몰 상품 창고에서 의류 즉 상품들은 상자에 담긴 후 선반에 일렬로 보관된다. 앞 절에서 설명한 바와 같이 상품 반출 업무의 효율성을 높이고 동시에 상품이 잘못 놓여

못 찾는 경우를 최대한 막기 위해 의류 인터넷 쇼핑몰 상품 창고에서 상품들은 동일 브랜드끼리 상자에 담긴 후 다시 동일 브랜드의 상자끼리 모여서 선반에 진열된다. 이것은 클래스 별 배치 전략의 일종으로 볼 수 있는데, 새로운 상품들이 입고될 경우 상품들은 동일 브랜드끼리 상자에 담긴 후 선반 위에 있는 기존 상자들 중에서 동일 브랜드의 상자 옆에 배치되어야 한다. 이 때 두 가지 업무가 발생하는데, 하나는 입고된 새로운 상품을 넣을 상자를 결정하는 업무이고, 다른 하나는 동일 브랜드의 상자끼리 모여 있도록 기존 상자들을 재배치하는 업무이다. 전자 업무의 경우에는 기존 동일 브랜드의 상자 중 신규 입고된 상품을 넣을 만큼의 여유 공간이 있는 상자 또는 상자들을 결정하고, 만약 그러한 상자가 부족하다면 새로이 빈 상자를 추가한다. 후자 업무의 경우, 새로운 상자를 추가해야 함에도 불구하고 선반 위의 빈 공간이 새로 입고되는 상자를 넣을 수 있을 만큼 충분하지 않다면, 옆의 다른 브랜드의 상자들을 옆으로 밀어서 공간을 확보한 후 새로운 상자를 배치함으로써 동일 브랜드 상자끼리 붙어있도록 해야 한다. 후자 업무는 새로운 상품 상자를 입고할 때 동일 브랜드의 상자들끼리 붙어 있도록 하면서, 다른 브랜드의 상자를 옆으로 옮기는 횟수를 최소화하는 문제로 정형화 되며, 이 문제의 해법은 송용욱, 안병혁[2010]에 의해 일부 제시 되었다. 그러나, 입고되는 상품을 적재할 상자를 찾고, 다시 그 상자를 적절한 위치에 배치하는 전체 문제에 대해서는 아직까지 연구된 사례가 없다. 따라서, 본 논문에서는 상품을 적재할 상자를 선택하는 업무와 동일 브랜드의 상자끼리 모여서 재배치하는 업무 등을 포함한 전체 입고 업무를 해결하기 위한 효율적인 방법론을 모색하고자 한다.

3. 상품 배치 방법론

3.1 상자 배치 문제

본 절에서는 전체 문제해결에 앞서, 상자들을 동일 브랜드끼리 모여 있도록 유지하면서 신규 상자를 추가하는 ‘동일브랜드 상자 배치 방법론’에 대해서 설명한다. 우선 용어 정의의 일환으로서 상품 상자가 놓여지는 창고 내의 선반의 각 장소를 셀(Cell)이라고 부르자. 상자를 보관하는 선반은 다층의 격자형 선반으로, 따라서 셀의 배치 형태는 2차원 배열의 형태이다. 그런데, 2차원 배열의 공간 상에서 새로운 상자가 추가될 때 동일 브랜드의 상자 영역 - 클래스 - 을 전후 및 좌우 등 임의의 방향으로 확장하게 되면 여러 번의 확장 후에 그 확장 결과 영역의 모양이 단순한 직사각형 모양이 아닌 아주 복잡한 모양이 되어 관리가 오히려 어려워지게 된다. 이와 달리 창고관리자가 셀의 배치 형태를 1차원 배열로 파악하여 동일 브랜드 셀의 시작점과 끝점의 두 가지 값만을 기억하도록 하면 창고 관리자가 브랜드의 위치를 기억하고 관리하는 것이 오히려 간편하다. 따라서, 본 문제에서는 셀의 배치 형태를 일렬로 늘어난 1차원의 배열로 간주하고, 이 1차원 배열 상에서 동일 브랜드의 상자끼리 모이도록 한다(<그림 1>).

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24



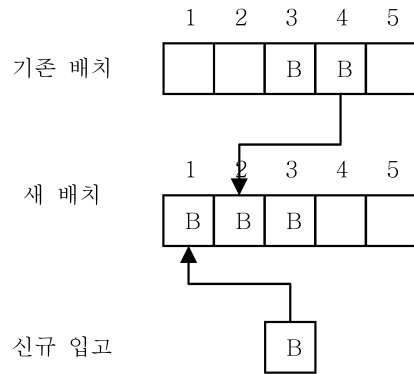
1	2	3	...	21	22	23	24
---	---	---	-----	----	----	----	----

<그림 1> 셀의 배치 형태

그러면, 이 배치문제는 새로운 상품 상자가 입고될 때 1차원 셀의 배열에 동일 브랜드의 상품 상자끼리 모이도록 상품 상자들을 배치하되, 이러한 동일 브랜드별 상품 상자 유지를 위하여 이동하여야 하는 상품 상자의 총 개수를 최소화하는 것이 된다.

3.2 최적 모형화

위 상자 배치 문제의 모형화를 위하여 이진 변수 x_{ij} 를 도입한다. x_{ij} 는 j 번째 셀부터 시작하여 i 번째 브랜드의 모든 상자들(기존 상자 및 신규 입고 상자)을 일렬로 배치할지 여부를 나타낸다. 예를 들어, 브랜드 1의 상자들이 총 3개이고 이것을 1번째 셀에 배치한다면 $x_{11} = 1$ 이 되고, 1, 2, 3번 셀이 3개의 브랜드 1상자들로 채워지게 된다. 이때 $x_{12} = x_{13} = 0$ 이며, x_{ij} 변수는 0 또는 1의 값을 갖는 이진 (binary) 변수로서, 그 변수 자체에는 상자의 개수 정보가 나타나지 않음에 유의하기 바란다. 목적함수를 구하기 위하여 비용 c_{ij} 를 도입하자. 비용 c_{ij} 는 i 번째 브랜드의 상자들을 j 번째 셀부터 배치하고자 할 경우 이동하여야 하는 i 번째 브랜드 상자들의 개수를 나타낸다. 예를 들어, 브랜드 1의 상자가 기존에 2개가 있었고 3, 4번 셀에 위치하고 있었다고 하자(<그림 2>). 그리고, 브랜드 1의 상자가 새로 1상자가 추가 입고되었다고 하자. 이 경우 브랜드 1의 총 3개의 상자를 1번 셀부터 연속해서 배치하려면 기존 4번 셀의 상자를 2번 셀로 옮기고, 신규 입고 상자는 1번 셀에 배치하면 되므로 c_{11} 은 2(= 이동 1개 + 신규 1개)가 된다. 지금까지 정의한 변수 x_{ij} 와 비용 c_{ij} 를 이용하여 우리의 최적화 문제를 정수계획법 문제로 모형화하면 다음과 같다[송용욱, 안병혁, 2010].



<그림 2> C_{ij} 의 계산 방법 예

- m : 브랜드의 개수
- n : 셀의 개수
- s_i : 브랜드 i 상품의 상자의 총 개수(기존 상자 및 신규 입고 상자) ($i = 1, \dots, m$)
- x_{ij} : 브랜드 i 상품을 j 번째 셀부터 s_i 개를 연속하여 배치하는지 여부(이진 변수)
($i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n - s_i + 1$)
- c_{ij} : 브랜드 i 상품을 j 번째 셀부터 연속하여 s_i 개를 배치할 경우 이동해야 하는 모든 상자의 개수
($i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n - s_i + 1$)

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n-s_i+1} c_{ij} x_{ij} \tag{1}$$

subject to

$$\sum_{j=1}^{n-s_i+1} x_{ij} = 1 \quad \text{for } i = 1, \dots, m \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=\max(1, j-s_i+1)}^{\min(j, n-s_i+1)} x_{ik} \leq 1 \quad \text{for } j = 1, \dots, n \tag{3}$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \tag{4}$$

for $i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n - s_i + 1$

〈표 2〉 정수계획법에 의한 상용 최적화 패키지의 문제 해결 시간

셀 수	브랜드 수	상자 수	입고 상자 수	입고 브랜드 수	수행시간 (초)	최적해 (비용)
500	4	450	2	1	0	2
1,000	9	900	9	1	2	15
1,500	13	1,350	10	2	4	15
2,000	17	1,800	16	2	7	22
2,500	21	2,250	17	3	10	26
3,000	25	2,700	26	3	15	32
3,500	30	3,150	26	4	47	34
4,000	34	3,600	31	5	72	43
4,500	39	4,050	39	5	62	58
5,000	43	4,500	37	6	237	42
5,500	47	4,950	45	6	수행 불가	계산 불가
6,000	52	5,400	51	7	수행 불가	계산 불가
6,500	56	5,850	55	7	수행 불가	계산 불가
7,000	60	6,300	60	8	수행 불가	계산 불가

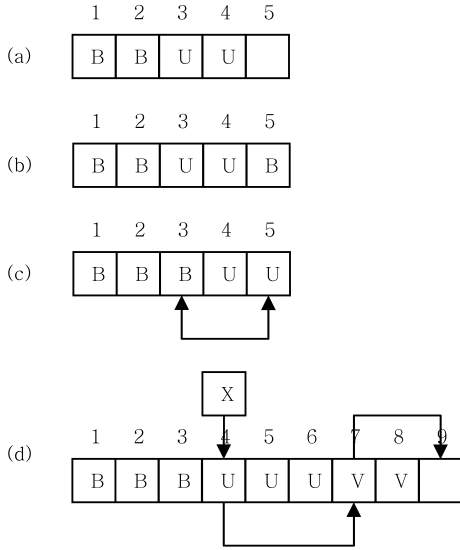
위 모형에서 식 (2)는 모든 브랜드 i 는 특정 셀에 반드시 한번만 배치되어야 함을 나타내는 제약식이고, 식 (3)은 각 셀에는 한 개 이내의 상자만 배치되어야 함-빈 셀이 있을 수 있으므로-을 나타내는 제약식이다.

그런데, 문제는 위 정수계획법 모형을 실제의 인터넷 쇼핑몰의 창고 문제에 대해 그대로 적용하기가 어렵다는 데 있다. 실제 한 의류 쇼핑몰의 창고 문제를 검토했을 때, 쇼핑몰의 브랜드의 개수는 약 60개, 셀의 개수는 약 7,000개로서, 이 쇼핑몰의 문제를 위 모형으로 모형화 했을 때 변수의 개수는 약 420,000개 정도가 되었다. 그런데, <표 2>에 나타난 것처럼 상용 최적화 패키지(예를 들어 CPLEX)를 이용한 문제 해결 시간을 검토해 보았을 때, 그 의류 인터넷 쇼핑몰이 갖고 있는 컴퓨팅 환경에서 브랜드의 개수가 43개, 셀의 수가 5,000개 이내인 경우까지는 문제를 풀었지만, 그 이상이 되면 문제를 풀지 못하는 것이 확인되었다[송용욱, 안병혁, 2010]. 따라서, 고가의 대형 컴퓨터 장비를 갖추

지 못한 실제의 의류 인터넷 쇼핑몰 컴퓨팅 환경 하에서는 쇼핑몰의 상자 배치 문제를 정수계획법에 의한 해결하는 것이 실질적으로 불가능한 것으로 판단된다.

3.3 문제 완화에 의한 모형화

따라서, 실제 인터넷 쇼핑몰의 주어진 컴퓨팅 환경 하에서 기대 가능한 시간 내에 이 문제를 풀기 위해서는 이 문제를 다른 관점에서 모형화할 필요가 있다. 이를 위하여 상품 상자의 배치 방법을 빈 셀(상자가 배치되지 않은 셀) 및 “재배치”라는 관점에서 생각해 보기로 하자. 입고 되는 여러 개의 상품 상자 중 임의의 한 개를 고르자. 이 상품 상자를 X라고 하고, X상자의 브랜드를 B라고 하자. 그리고, X를 각 빈 셀에 배치할 경우의 비용을 생각해 보자. 예를 들어, B 브랜드의 상자들이 배치된 셀들의 바로 옆의 셀에 X를 배치할 경우 같은 브랜드의 상자끼리 묶기 위한 특별한 재배치 비용은 없다.



〈그림 3〉 문제 완화 예제

그러나, 예를 들어, B 브랜드의 상자들이 배치된 옆에 빈 셀이 없이 다른 브랜드 U의 상자들이 배치되어 있으며, 그 U 상자 옆에 비로소 빈 셀이 있다고 하자. 이 경우 배치 형태는 <그림 3>의 (a)와 같다. 만약, 상자 X를 <그림 3> (a)의 5번 빈 셀에 배치하게 되면 배치 후 상자들의 브랜드 분포는 <그림 3>의 (b)와 같다. 이 경우 B 브랜드의 상자끼리 묶기 위해서는 3번 셀의 U 브랜드 상자과 5번 셀의 X상자를 교환하면 되며(<그림 3> (c)), 이때 재배치 비용은 1이 된다. 즉, 상자 X를 5번 빈 셀에 배치하는 비용은 1이 된다. 좀 더 복잡하게, 다른 2개의 브랜드 U, V의 상자들이 있는 <그림 3>의 (d)의 배치 형태를 보자. 이때, 브랜드 B의 상자끼리 묶기 위하여 7번 V상자를 9번으로 옮기고, 4번 U상자를 7번으로 옮기며, 상자 X를 4번에 넣으면 된다. 따라서, 이 경우 상자 X를 9번 셀에 배치하는 비용은 2가 된다. 이때, 상자 X는 궁극적으로는 4번 셀에 배치되는 점에 유의하기 바란다. 이것을 일반화하여 이야기하면, B 브랜드의 상자과 특정 빈 셀 사이에 있는 상자

들의 브랜드의 개수가 d개라면 재배치 비용은 d가 된다. 이상의 논의를 바탕으로 우리의 상자 배치 문제를 재배치 관점에서 새로이 모형화하면 다음과 같이 된다[송용욱, 안병혁, 2010].

p : 입고되는 상자의 개수

q : 빈 셀의 개수 (단, $q \geq p$)

y_{ij} : 상자 i 를 j 번째 빈 셀에 배치하는지 여부(이진 변수) ($i=1, \dots, p, j=1, \dots, q$)

d_{ij} : 상자 i 를 j 번째 빈 셀에 배치할 경우 재배치 비용 ($i=1, \dots, p, j=1, \dots, q$)

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q d_{ij} y_{ij} \tag{6}$$

subject to

$$\sum_{j=1}^q y_{ij} = 1 \quad \text{for } i=1, \dots, p \tag{7}$$

$$\sum_{i=1}^p y_{ij} \leq 1 \quad \text{for } j=1, \dots, q \tag{8}$$

$$y_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad \text{for } i=1, \dots, p, j=1, \dots, q \tag{9}$$

식 (7)은 신규 입고되는 상자가 반드시 어느 한 빈 셀에 배치되어야 함을 나타내는 제약식이고, 식 (8)은 빈 셀에는 1개 이내의 상자-빈 셀도 가능하므로-가 배치되어야 함을 나타내는 제약식이다. 위 모형에 나타난 두 개의 제약식의 형태를 살펴보면 위 최적화 모형은 할당문제 (Assignment Problem)임을 알 수 있다. 할당문제는 수송문제(Transportation Problem)의 특수한 형태로서 변수의 이진 변수 제약을 삭제한 선형계획법(Linear Programming) 모형으로 바꾸어 풀어도 정수해를 보장하는 것이 알려져 있고, 또한 수송문제와 할당문제를 풀기 위한 빠른 알고리즘들이 이미 고안되어 있다. 따라서, 위 최적화 모형은 식 (1)~식 (5)의 정수계획법 모형보다 훨씬 빠른 시간 내에 풀 수 있음을 알

수 있다. 다만, 이 모형이 원래 문제에 대해 최적화를 보장하는가가 문제가 되며, 이에 대해서는 우리의 전체 입고 문제의 해결 방법론을 살펴본 후 전체 문제의 해의 최적 여부 관점에서 논의하기로 하겠다.

3.4 신규 브랜드의 처리

위 할당문제를 모형화하기 위해서는 입고되는 상자와 동일 브랜드의 상자가 기존 셀에 이미 1개 이상 존재해야 한다. 이와 같이 기존에 이미 존재하는 1개 이상의 동일 브랜드의 상자를 Seed라고 부르겠다. 즉, 앞 절의 할당문제 모형화를 위해서는 Seed에 해당하는 동일 브랜드의 상자가 이미 있어야 한다. Seed 상자가 없을 경우는 재배치 비용, 즉 d_{ij} 를 결정할 수 없기 때문이다. 이 문제를 해결하기 위하여 신규 입고 브랜드의 Seed 상자를 정해주어야 하는데, 이를 위해서는 또 다른 최적화 모형을 풀어야 한다. 그러나, 이 모형은 또 다시 제3.2절의 정수계획법 문제와 비슷한 크기 IP 모형이 되며, 실제의 인터넷 쇼핑물의 컴퓨팅 파워를 고려할 때 해결 불가능하다. 따라서, 본 연구에서는 신규 브랜드의 처리 문제를 제3.3절에 나타난 완화 모형의 연장선 상에서 문제를 풀기로 하고, 만족스러운 - 즉, 실무 담당자가 기다릴 수 있는 - 시간 내에 문제를 풀기 위하여 신규 브랜드의 Seed 상자 배치를 위한 다음과 같은 휴리스틱(Heuristic)을 고안하였다.

휴리스틱을 설명하기 위하여 다음과 같은 상황을 고려해 보자. 기존에 A, B, C 브랜드의 상자가 있고, 신규로 D 및 E 브랜드의 상자가 입고된다고 하자. 그리고, 기존의 상자 배치는 <그림 4>의 (a)와 같다고 하자. 만약 신규 입고되는 브랜드 D의 상자의 개수가 2, 브랜드 E의 상자의 개수가 1이라면, D 상자는 5번과 6번에, E

상자는 2번 또는 10번에 배치하면 되고, 배치 후에 남는 입고 상자가 없으므로 이것은 최적 Seed 상자 배치 방법이 된다. 예를 들어, E를 10번에 배치하면 <그림 4>의 (b)와 같이 된다.

만약 신규 입고되는 D상자가 3개, E상자가 1개라면, D는 5번과 6번에, E는 2번 또는 10번에 배치한 후, 이 상태를 기존 상태로 하여 앞 절의 할당모형 문제를 다시 풀면 된다. 예를 들어 E를 10번에 배치하고 할당모형 문제를 풀면 <그림 4>의 (c)와 같이 된다. 신규 입고되는 D는 D의 상자가 4개, E상자가 1개인 경우는 있을 수 없다. 왜냐하면, 가정에 의해 신규 입고되는 상자의 수는 빈 셀의 수보다 작거나 같아야 하기 때문이다.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(a)	A		B	B			C	C	C	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(b)	A		B	B	D	D	C	C	C	E
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(c)	A	B	B	D	D	D	C	C	C	E

<그림 4> 신규 브랜드 처리 예제

일반화하여 설명하면, 입고되는 신규 브랜드의 상자가 p, 빈 셀의 수가 q일 경우(단, $q \geq p$), 입고되는 상자의 수가 가장 큰 브랜드의 상자를 빈 셀들이 가장 많이 뭉쳐있는 공간에 Seed로 할당하는 것이 좋은 해를 가져다 줄 것이 기대된다. 위의 예를 다시 들면, 입고되는 상자의 수가 가장 큰 브랜드는 D였으며, 빈 셀들이 가장 많이 뭉쳐있는 공간은 4~5번 공간이었다. 이때, 입고되는 상자의 수가 뭉쳐있는 셀들의 수보다 크다면, 위의 두 번째 예에서처럼 뭉쳐있는 셀들의 수만큼만 배치하고 나머지는 배치하지 않고 두었다가 나중에 할당모형 문제를 풀어서 추가

배치하면 된다. 또한 $q \geq p$ 이므로, 상자의 수가 가장 큰 브랜드의 상자를 Seed로 배정할 빈 셀(들)의 공간은 반드시 존재한다. 지금까지 설명한 Seed 상자 배치 휴리스틱을 단계별로 정리하면 다음과 같다.

단계 1 : 입고되는 신규 브랜드들을 상자의 수에 따라 내림차순으로 정렬(Sorting)한다. 정렬된 브랜드들을 B_1, \dots, B_m (m 은 브랜드의 개수)라고 하자. 이때, B_1 의 상자수가 제일 많은 것이고, B_m 의 상자 수는 제일 적은 것이며, 상자 수가 같은 경우에는 임의로 정렬한다.

단계 2 : $i = 0$ 로 한다.

단계 3 : $i = i + 1$ 로 한다. i 가 m 보다 크면 휴리스틱을 끝낸다.

단계 4 : 뭉쳐 있는 빈 셀들의 공간들 중 크기가 제일 큰 공간 S 를 찾는다. 크기가 동일한 공간이 복수 개이면 그 중 임의의 공간을 고른다.

단계 5 : B_i 의 상자들을 공간 S 에 할당한다. S 의 셀의 수보다 B_i 의 상자 수가 크면 S 의 셀의 수만큼만 배치한다.

단계 6 : 단계 3으로 간다.

3.5 통합 입고 휴리스틱

위 휴리스틱을 수행 한 후에 몇몇 브랜드의 상자들은 배치되지 않고 남을 수 있다(단계 5 참조). 이 상자들은 이제 Seed 상자가 있는 상황이므로 앞 절의 할당모형 문제를 풀면 된다. 따라서, 창고에 입고 시 상자들의 최소한의 이동으로 동일 브랜드의 상자들끼리 묶이도록 배치하는 우리의 문제를 풀기 위해 통합된 전체 절차는 다음과 같이 된다.

단계 1 : 입고되는 상자들 중 기존 브랜드의 상자들만을 가지고 할당문제를 푼다.

단계 2 : 제 3.4절의 휴리스틱에 의해 신규 브랜드의 Seed 상자를 배치한다.

단계 3 : 배치되지 않고 남은 상자들을 가지고 할당문제를 푼다.

3.6 최적성 및 복잡성

최적성 및 복잡성을 우리의 세 가지 휴리스틱 관점에서 살펴보자. 완화된 상자 배치 문제의 경우 이것이 할당문제이므로 원래의 정수계획법 문제보다 풀기 쉬운 것이 자명하다. 또한, 실제 창고에서 빈 셀의 개수가 전체 셀의 20~30% 이내로 유지되는 점을 고려하면 정수계획법 문제의 셀의 수가 7,000개, 변수 개수가 420,000개에 이르는 데 반하여, 할당모형 문제의 빈 셀의 수는 약 1,400~2,100개, 변수의 개수는 신규 입고 상자의 개수가 60개 일 때 약 84,000~126,000개 정도로 현저히 문제의 크기도 작아지는 것을 알 수 있다. 문제가 작아지면 당연히 계산 시간도 줄어든다. 즉, 문제의 형태가 할당문제로 바뀌었고, 또 그 규모도 작아졌으므로 복잡성 측면에서 완화된 상자 배치 모형이 더 우수하다. 다시 말하면, 더 크기가 작고 빠른 시간 내에 풀 수 있다. 그러나, 완화된 상자 배치를 위한 할당 문제 모형은 최적해를 보장하지는 않는다[송용욱, 안병혁, 2010]. 예를 들어, 기존에 B 브랜드의 상자가 1개 있는 상황에서 B 브랜드의 상자 2개를 추가로 입고하려고 한다고 하자. 그리고, 입고 전 상자 배치가 <그림 5>의 (a)와 같다고 하자. 즉, B 브랜드의 상자 옆에는 빈 셀이 없고, U 브랜드의 상자를 건너서 빈 셀이 3개 있다고 하자. 위 할당모형을 이용하여 문제를 풀 경우 B 브랜드의 상자 1개당 재배치 비용이 1로서 총 재배치 비용은 2가 되며, 그때의 최종

배치는 <그림 5>의 (b)와 같이 된다. 그러나, 원래는 기존 1개의 B 브랜드 상자를 4번으로 옮기고, 2개의 신규 입고 상자를 5번과 6번에 배치하면 재배치 비용은 1이 되며, 그때의 최종 배치는 <그림 5>의 (c)와 같이 된다. 그러므로, 앞서의 할당문제 모형은 최적해를 보장하지 못한다.

	1	2	3	4	5	6
(a)	B	U	U			
(b)	B	B	B	U	U	
(c)		U	U	B	B	B

<그림 5> 최적해 검토 예제

다음으로 신규 브랜드의 처리를 위한 휴리스틱을 검토해 보자. 이 휴리스틱은 알고리즘이 아니라 추론에 의해 비용 최소화가 기대되도록 고안된 방법론으로서 그 자체로서는 최적해를 보장하지 않는다. 게다가 이 휴리스틱에 의한 해의 최적 여부는 그 자체로서 평가될 수 없고, 이 휴리스틱에 의해 결정된 Seed 상자를 바탕으로 최종 상자 배치 해를 구하여야 할 수 있다. 즉, 이 휴리스틱만의 최적성 여부는 판단하기 곤란하고 완화된 상자 배치 모형까지 푸는 통합 입고 휴리스틱에 의해 나온 해의 최적성 여부만 원래의 최적화 모형과 비교함으로써 알 수 있다. 따라서, 개별 휴리스틱의 타당성 여부를 검토하는 대신에, 통합 휴리스틱 방법론에 의한 해의 타당성을 검토하기 위한 실험을 실시함으로써 우리의 방법론의 타당성을 증명하고

자 한다. 이러한 검토 방법은 각 휴리스틱 별 해의 만족성보다는 최종의 전체 해의 만족성에 관심이 있는 실제 인터넷 쇼핑몰 창고 관리 담당자의 이해와도 일치한다. 이에 대해서는 다음 절에서 설명한다.

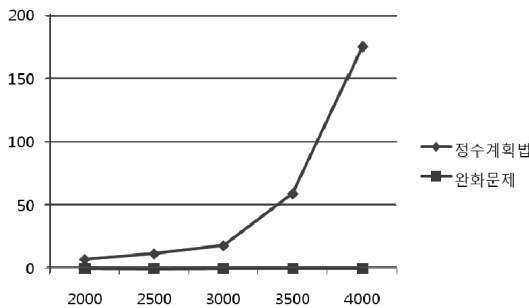
4. 실험 및 결과

통합 휴리스틱 방법론에 의한 해의 타당성을 검토하기 위하여 상용 패키지에 의해 푼 원래의 정수계획법 모형의 해와 통합 휴리스틱 방법론의 해를 비교 실험하였다. 실제적인 비교를 위해서는 셀의 수 7,000개, 브랜드 수 60개인 문제를 풀어서 비교해야 하지만 원래의 정수계획법 모형의 경우 상용 패키지가 풀 수 없으므로, 상용 패키지가 풀 수 있는 한계 내에서 셀 수가 2,000, 2,500, 3,000, 3,500 및 4,000개, 브랜드 수가 17, 21, 25, 30 및 34개인 각각의 경우에 대해서 임의의 문제를 20개씩 생성하여 그 속도 및 최적해를 비교하였다. 실험에서 사용한 셀의 수 및 브랜드의 수는 실제 문제의 셀 수 7,000개 및 브랜드 수 60개에 비례하여 결정하였다. 신규 브랜드 처리를 위한 휴리스틱의 최적성 여부도 검토하여야 하므로, 생성된 문제들의 신규 브랜드 수도 실제 문제에 비례하여 임의로 생성하였으며, 20개 문제에서의 평균은 각각 0.8, 1.35, 0.8, 1.65, 1.8이 되었다.

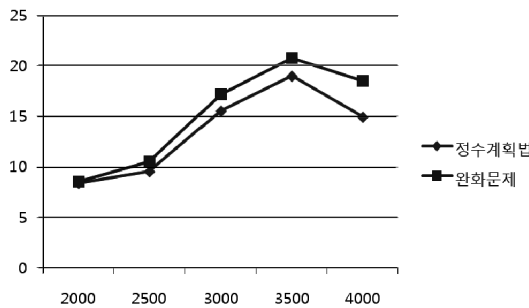
<표 3>을 보면 먼저 속도 측면에서 문제 크기 별로 20개 문제를 푼 평균 시간이 정수계획법 모형의 경우 7.4, 11.8, 18.3, 59.35, 175.45초 등으로 기하급수적으로 증가하는 모습을 보이는데 반하여, 완화된 할당문제 모형의 경우 0.1, 0, 0.15, 0.15, 0.15초 등으로 정수계획법 모형에 비해 현저히 작으면서, 문제의 크기가 커질 때 상대적으로 적게 증가하는 것을 볼 수가 있다 (<그림 6>).

〈표 3〉 실험 결과

셀 수	브랜드 수	상자 수	입고 상자 수	입고 브랜드 수	신규 브랜드 수	정수계획법 (초)	정수계획법 (비용A)	완화문제 (초)	완화문제 (비용B)	비율 (비용B/비용A)(%)
2,000	17	1900	16.6	2	0.8	7.4	8.4	0.1	8.55	100.52
2,500	21	2375	20.5	3	1.35	11.8	9.55	0	10.55	102.43
3,000	25	2850	22.9	3	0.8	18.3	15.55	0.15	17.20	103.79
3,500	30	3325	29.7	4	1.65	59.35	19	0.15	20.80	103.29
4,000	34	3800	32.95	5	1.8	175.45	14.95	0.15	18.50	107.82
평균	25.4	2850	24.53	3.4	1.28	54.46	13.49	0.11	15.12	103.57



〈그림 6〉 문제 해결 시간 비교



〈그림 7〉 평균 비용 비교

최적해의 측면에서 20개 문제의 평균 비용이 정수계획법 모형의 8.4, 9.55, 15.55, 19, 14.95 등의 최적값에 비하여 완화된 할당문제 모형의 경우 8.55, 10.55, 17.20, 20.80, 18.50 등으로 각각 100.52%, 102.43%, 103.79%, 103.29%, 107.82%로 증가한 것을 볼 수 있다(〈그림 7〉). 이것은

평균 약 3.57%의 비율로 총 비용이 증가한 것을 나타낸다. 이 연구의 목적이 비용 측면의 최적해에는 차이가 없도록 하되, 그 해를 구하는 시간은 단축시키는데 있다는 점을 생각하면, 완화된 할당문제 모형과 그에 따른 휴리스틱 기법이 원래의 정수계획법 모형에 비해 총 비용 측면에서는 차이가 없으면서도 현저히 빠른 시간 내에 해를 구하는 것으로 파악되었다. 특히 원래 최적해를 구하기 위한 정수계획법 문제가 셀 수 7,000개짜리 실제 문제를 풀지 못하는 것을 고려하면 이러한 결과는 상당히 만족스러운 것으로 평가되었다.

정수계획법은 NP-완전(NP-complete) 문제이나, 상자 배치를 위한 완화문제는 수송문제의 특성 때문에 선형계획법 문제가 되며, 선형계획법 문제는 다항시간(Polynomial time) 내에 해를 도출할 수 있는 것으로 알려져 있다. 이런 관점에서, 문제의 크기가 커질수록 완화문제가 정수계획법 모형에 비해 훨씬 짧은 시간 내에 해를 도출해 낼 수 있음을 알 수 있으며, 이러한 사실은 〈표 3〉을 통해서도 일부 확인할 수 있다. 또한 실험결과 셀이 4,000개 일 때 정수계획법이 통합 휴리스틱 방법론에 비해 약 160초의 시간이 더 걸리지만, 움직여야 하는 상자의 개수가 약 4개 정도 늘어난 것에 불과하다. 상자 4개를

움직이는 데 수 십 초이면 충분하고, 문제의 크기가 커질수록 문제 해결 시간과 상자를 더 옮겨야 하는 시간 간의 차이는 더욱 커질 것이기 때문에 쇼핑몰의 창고 관리 담당자는 우리가 고안한 방법론의 해를 만족스럽게 받아들였다.

5. 결 론

본 연구에서는 의류 인터넷 쇼핑몰에서 상품 입고 시 추후 주문 상품의 반출을 용이하게 하고 창고 내 상품의 관리를 용이하게 하기 위한 상품의 배치를 정하는 문제를 해결하고자 하였다. 상품 반출 빈도, 상품 크기나 무게 등을 기준으로 하는 SKU의 위치를 정하는 기존 연구들과는 달리, 브랜드 별로 상품을 묶어 유지하여야 하고 입고를 위해 움직여야 하는 상자의 개수를 최소화 하는 것이 기준이 된다는 점에서 본 연구의 문제는 기존 문제와 다른 새로운 유형의 문제라고 할 수 있다.

본 연구의 문제는 정수계획법에 의한 최적 모형화가 가능하다는 하나, 현실의 인터넷 쇼핑몰의 실제 상황에서는 문제의 크기가 너무 커서 상용 정수계획법 패키지로는 만족할 만한 시간 내에 해결하기가 곤란하였다. 따라서, 문제를 빈 셀 및 재배치의 관점에서 접근함으로써 문제를 완화하여 상자 배치를 위한 할당 문제 모형으로 변환하고, 이에 따라 파생되는 신규 브랜드 상자의 결정문제를 해결하기 위한 휴리스틱과 연결하여 통합 휴리스틱 방법론을 제시하였다. 이렇게 얻어진 통합 휴리스틱 방법론의 경우 완화된 상자 배치를 위한 할당 모형의 특성상 선형계획법 패키지에 의해서 빠른 시간 내에 풀 수 있으며, 또한 문제의 크기가 빈 셀의 수에 비례하므로 창고 내 전체 셀의 크기가 커져도 원래의 최적화 모형과 달리 문제의 크기가 심각히 커지지 않는다는 장점이 있다. 그러나,

할당 문제로 완화된 상자 배치 모형은 신규 브랜드 상품의 경우에는 모델링에 포함시킬 수 없다는 문제가 있었다. 이를 해결하기 위하여 신규 브랜드 상품의 처리를 위한 휴리스틱을 추가 개발하였다. 이렇게 개발된 통합 휴리스틱 방법론은 최적해를 보장하지는 못하지만, 그 해가 충분히 만족스럽다는 것을 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

본 연구의 결과는 특히 컴퓨팅 파워가 부족한 국내 중소 인터넷 쇼핑몰들의 창고관리에서 유용할 것으로 판단된다. 분명히 창고관리를 위한 최적해가 존재하고 또 그 최적해를 얻기 위한 방법론도 존재하지만, 그 최적해를 얻기 위해서는 대용량, 고가의 컴퓨터 장비를 사용해야만 하는 상황에서, 그러한 컴퓨팅 파워가 없는 일선 현장에서는 많은 인력과 시간을 투입하여 수작업에 의존한 비효율적인 창고관리를 할 수 밖에 없는 것이 현실이다. 따라서, 본 연구에서 제시한 휴리스틱 기법을 이러한 중소 인터넷 쇼핑몰에 적용한다면 많은 시간과 인건비를 절약할 수 있을 것으로 생각된다. 나아가, 컴퓨팅 파워가 충분한 대형 쇼핑몰에서도 본 연구의 창고관리 기법을 적용함으로써 고가의 대형 컴퓨터를 이용하는 대신에 저가의 좀 더 작은 컴퓨터와 약간의 추가 인력을 투입하여 동일한 창고관리 효과를 얻음으로써 창고관리에서 비용 효율성을 달성할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 김성철, “공급체인에 있어서 이차원천과 재고의 통합적 통제에 관한 연구”, *한국경영과학회지*, 제32권 제1호, 2007, pp. 93-104.
- [2] 김형욱, 황영룡, “자동창고의 기능, 효과 및 경제성 검토”, *경영과학*, 제6권 제1호, 1989, pp. 3-15.

- [3] 김창현, “중량물 적재를 위한 자동창고의 주기시간 평가”, *경영과학*, 제26권 제1호, 2009, pp. 93-112.
- [4] 명영수, “후관적치문제의 복잡성에 대한 연구”, *한국경영과학회지*, 제28권 제4호, 2003, pp. 31-37.
- [5] 문기주, 김광필, “수요변동시 자동창고의 공동영역 저장정책 수행도 평가”, *경영과학*, 제19권 제1호, 2002, pp. 1-12.
- [6] 박순달, “창고설치문제를 위한 새로운 해법”, *한국경영과학회지*, 제8권 제1호, 1983, pp. 27-30.
- [7] 박퇴경, 김갑환, “피라미드 형태 적재장에서 적재동의 개수와 적재동의 저장 공간 배치”, *한국경영과학회지*, 제32권 제2호, 2007, pp. 1-15.
- [8] 송용욱, 안병혁, “의류 인터넷 쇼핑몰에서 브랜드를 고려한 상품 입고 및 재배치 방법 연구”, *지능정보연구*, 제16권 제2호, 2010, pp. 129-141.
- [9] 원승환, 김갑환, “취급, 수송 및 저장능력을 고려한 임시 재고의 저장 공간 할당”, *한국경영과학회지*, 제31권 제3호, 2006, pp. 11-25.
- [10] 이찬경, 김성식, 장동식, “자동창고의 대기행렬현상에 관한 연구”, *경영과학*, 제6권 제1호, 1989, pp. 16-28.
- [11] Brynzer, H. and Johansson, M. I., “Storage location assignment : Using the product structure to reduce order picking times”, *Int., Journal of Production Economics*, Vol. 46-47, 1996, pp. 595-603.
- [12] Burkard, Rainer E., “Selected topics on assignment problems”, *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 123, 2002, pp. 257-302.
- [13] Caron, F., Marchet G., and Perego A., “Layout design in manual picking systems : a simulation approach”, *Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 11, No. 2, 2000, pp. 94-100.
- [14] Drury, J., “Towards more efficient order picking”, *IMM Monograph No. 1, Report, The Institute of Materials Management*, Cranfield, UK, 1988.
- [15] Elsayed, E. A. and Unal, O. I., “Order batching algorithms and travel-time estimation for automated storage/retrieval systems”, *Int. Journal of Production Research*, Vol. 27, No. 7, 1989, pp. 1097-1114.
- [16] Goetschalckx, M. and Ashayeri, J., “Classification and design of order picking systems”, *Logistics World*, June, 1989, pp. 99-106.
- [17] Goetschalckx, M. and Ratliff, H. D., “An efficient algorithm to cluster order picking items in a wide aisle”, *Engineering Costs and Production Economics*, Vol. 13, No. 4, 1988, pp. 263-271.
- [18] Goetschalckx, M. and Wei, R., “Bibliography on Order Picking Systems, Vol. 1. : 1985~1992”, 1994. Available on line at : www2.isye.gatech.edu/~mgoetsch/bibpick.ps, accessed May, 2010.
- [19] Graves, Stephen C., Warren H. Hausman, and LeRoy B. Schwarz, “Storage-Retrieval Interleaving in Automatic Warehousing Systems”, *Management Science*, Vol. 23, No. 9, 1977, pp. 935-945.
- [20] Hausman, Warren H., LeRoy B. Schwarz, and Stephen C. Graves, “Optimal Storage Assignment in Automatic Warehousing Systems”, *Management Science*, Vol. 22, No. 6, 1976, pp. 629-638.

- [21] Heragu, S. S., Du, L., Mantel, R. J., and Schuur, P. C., "Mathematical model for warehouse Design and Product Allocation", *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No. 2, 2005, pp. 327-338.
- [22] Heskett, J. L., "Cube-per-order index-A key to warehouse stock location", *Transportation and Distribution Management*, Vol. 3, No. 1, 1963, pp. 27-31.
- [23] Jewkes, Elizabeth, Chulung Lee, and Ray Vickson, "Product Location, Allocation and Server Home based Location for an Order Picking Line with Multiple Servers", *Computers and Operations Research*, Vol. 31, 2004, pp. 623-636.
- [24] Jane, Chin Chia, "Storage location assignment in a distribution center", *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 30, No. 1, 2000, pp. 55-71.
- [25] Koster, René de, Tho Le-Duc, and Kees Jan Roodbergen, "Design and Control of Warehouse Order Picking : A Literature Review", *European Journal of Operations Research*, Vol. 182, 2007, pp. 481-501.
- [26] Knuth, D. E., "The Art of Computer Programming 3rd Edition", *Volume 1 Fundamental Algorithms*, Addison-Wesley, New York, NY, 1997.
- [27] Le-Duc, T. and R. (M.) B. M. De Koster, "Travel Distance Estimation and Storage Zone Optimization in a 2-block Class-based Storage Strategy Warehouse", *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No. 17, 2005, pp. 3561-3581.
- [28] Little, T. D. C. and Venkatesh, D., "Popularity-Based Assignment of Movies to Storage Devices in a Video-on-Demand System", *MCL Technical Report*, 05-01-1994, 1994.
- [29] Malmborg, C. J. and Krishnakumar, B., "Optimal Storage Assignment Policies for Multiaddress Warehousing Systems", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 19, No. 1, 1989, pp. 197-204.
- [30] Merkurjev, Y., A. Burinskiene, and Merkurjeva, G., "Warehouse Order Picking Process", in Merkurjev, Yuri, Galina Merkurjeva, Miquel Àngel Pera, and Antoni Guasch (eds.) *Simulation-Based Case Studies in Logistics : Education and Applied Research*, Springer, London, 2009, pp. 147-165.
- [31] Muralidharan, B., R. J. Linn, and Pandit, R., "Shuffling heuristics for the storage location assignment in an AS/RS", *Int. Journal of Production Research*, Vol. 33, No. 6, 1995, pp. 1661-1672.
- [32] Park, E. H. and Park, Y. H., "Design of Automated Warehouse Systems", *Journal of the Korean OR/MS Society*, Vol. 13, No. 1, 1988, pp. 39-50.
- [33] Petersen, C. G., "An evaluation of order picking routing policies", *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 17, No. 11, 1997, pp. 1098-1111.
- [34] Petersen, C. G. and Schmenner R. W., "An evaluation of routing and volume-based storage policies in an order picking operation", *Decision Sciences*, Vol. 30, No. 2, 1999, pp. 481-501.
- [35] Roodbergen, K. J., "Layout and routing

- methods for warehouses”, *Erasmus Research Institute of Management*, Erasmus University, Rotterdam, 2001.
- [36] Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Frazelle, E. H., and Tanchoco, J. M. A., “Facilities Planning”, *John Wiley and Sons*, NJ, 2003.
- [37] White, J. A. and Kinney, H. D., “Storage and Warehousing”, in *Handbook of Industrial Engineering*, Chapter 10.4, G. Salvendy (ed.), John Wiley and Sons, New York, NY, 1982.

■ 저자소개



송 용 옥

현재 연세대학교 원주캠퍼스 경영학부 부교수로 재직 중이다. 서울대학교 국제경제학과를 졸업하고, 한국과학기술원(KAIST) 경영과학과 및 산업

경영학과에서 석사 및 박사학위를 취득하였다. Management Science, Annals of Operations Research, Expert Systems with Applications 등에 논문을 게재한 바 있다. 주요 관심분야는 전자상거래, 정보시스템 개발, 경영분야 문제의 전문가시스템 응용, 전문가시스템 및 수리계획법과 전자상거래의 통합 등이다.



안 병 혁

현재 경상대학교 경영정보학과 조교수로 재직 중이다. 한국외국어대학 러시아어학과를 졸업하고 서울대학교 대학원과 미국 Michigan State University

에서 경영학 석사를, 미국 Kent State University에서 경영학 박사를 취득하였다. Decision Sciences, IIE Transactions 등에 논문을 게재하였으며 관심 분야로는 정보시스템 개발, 신경망 응용, 전역 최적화 등이다.