

Solutions for the Shelf Space Allocation and Inventory Replenishment of Convenience Stores with Product Substitution

Sung-Joon Yoon · Yang-Byung Park[†]

Department of Industrial and Management Systems Engineering, College of Engineering, Kyung Hee University

제품대체를 고려한 편의점의 진열공간 할당과 재고보충을 위한 해법

윤성준 · 박양병[†]

경희대학교 공과대학 산업경영공학과

Due to their accessibility and 24-hr availability, convenience stores are an integral part of daily lives. Because they sell a limited number of products and have small shelf space, shelf space allocation and inventory replenishment are important considerations for inventory management that critically affect profit. In this paper, we propose five solutions for the vendor-managed inventory problem of convenience stores that maximize profit while considering stock-out-based product substitutions. The performance of the proposed solutions is evaluated via simulation to reflect the demand uncertainty and marketing activity.

Keywords : Convenience Stores, Shelf Space Allocation, Vendor-Managed Inventory Problem, Product Substitution, Simulation

1. 서 론

현대인의 바쁜 사회생활과 개인화에 따라 일용품의 구매가 극소량화, 편의성, 간편성을 추구하게 되고, 이러한 구매패턴의 시대적 변화에 맞게 등장한 것이 편의점이다. 2013년 5월 현재 점포 수 기준 업계 4위까지의 국내 편의점 수는 총 24,596개로 인구 2,042명당 한 개 점포의 높은 비율을 보이고 있으며, 최근 수개월 동안에도 월 평균 약 375개의 새로운 점포가 출점하고 있는 것으로 조사되어 있다[19]. 편의점은 음료수, 식품, 스낵 등의 기본 일용품을 비롯하여 책, 의약품 등의 다양한 제품으로 확대되고 있다. 대부분의 편의점에서 제품의 재고공간은 별도의 저장소 없이 매장의 진열공간으로 한정되어 있다.

편의점은 본사에 일정한 가맹수수료를 지불하고, 본사는 편의점의 재고관리에 대해 책임을 진다. 즉, 본사의 물류

센터는 편의점들과 연결되어 있는 POS 시스템을 통해 수집된 실시간 판매 및 재고정보를 토대로 공급자 주도 재고관리(VMI)를 수행한다. 이에 따라 편의점은 공간소요를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 번거로운 주문 작업으로부터 자유롭게 되어 판매활동에만 전념할 수 있게 된다. 편의점의 재고관리문제는 판매제품의 진열공간 할당, 재고보충시점 및 보충량 결정, 보충차량의 경로결정으로 이루어지며, 편의점의 수익에 지대한 영향을 미친다. 이들 의사결정 요소는 복잡하게 연관되어 상호 영향을 미치기 때문에 종합적으로 분석하여 최적의 해를 구하기가 결코 쉽지 않다.

대부분의 편의점 관련 기존문헌은 입지결정, 신선제품에 대한 유통이나 품질개선에 대한 연구에 집중되어 있으며, 재고관리에 대한 연구는 미흡한 것으로 나타났다. 이에 따라 본 연구에서는 편의점을 비롯하여 백화점, 대형마트, 소매점과 같은 일반 유통업체에 대한 유사한 재고관리 연구를 비중 있게 참고하였다.

Bassok et al.[1]은 제품대체를 고려하면서 단일기간 재고제품의 수익을 최대화하는 제품의 저장공간 할당해법을

제안하였다. Davies et al.[5]은 식품점 관리자들의 설문 조사를 이용해 실시한 AHP 분석을 토대로 효과적인 제품의 저장공간 할당방법을 제안하였다. Kim and Joo[10]는 소매점에서 고객의 충동구매 행태를 분석하여, 충동구매의 가능성을 높이기 위한 상품배치 휴리스틱을 제안하였다. Nam et al.[12]은 백화점에서 고객의 구매패턴을 판매자료 및 설문조사를 통해 분석하고, 이 분석결과를 토대로 최적의 제품배치 및 재고관리 방법을 제안하였다. Yücel et al.[18]은 소매점에서 고객의 제품대체, 진열공간 제한을 고려하면서 단일기간 제품의 구색 및 재고관리를 최적화하는 모형을 제시하였다. 그리고 제품대체와 진열공간 제한을 무시한 모형과의 비교실험을 통하여 이들 모형의 효율성을 증명하였다. Hwang et al.[7]과 Murray et al.[11]은 소매점에서 제품들의 선반공간 할당문제를 위한 최적 수리모형과 휴리스틱을 개발하였다. Honhon et al.[6]은 고객의 구매활동에서 발생하는 제품대체 현상을 실증적으로 분석하고, 그 결과를 유틸리티 최적화 절차를 적용한 multi-nominal logit 모형으로 표현하였다. Chen [2]은 편의점 공급사슬의 서비스 품질에 영향을 미치는 요소들을 재고, 유통, 제품분류 등의 여러 서비스 카테고리 분류하여, 개발한 분석모형을 이용해 카테고리별로 품질에 지대한 영향을 미치는 주요 요소들을 도출하였다. Rajaram et al.[15]은 전통적인 newsvendor 문제에 대해 제품대체를 추가한 주문량 결정모형을 제시하고, Lagrangian dual-based 절차를 이용한 upper bound 결정의 휴리스틱을 개발하여 모형의 풀이에 적용하였다. 해법의 우수성은 시뮬레이션 결과 값과의 비교를 통하여 입증하였다. Tsai and Huang[16]은 편의점의 최적 재고보충 물량 결정을 위한 2단계 모형을 개발하였다. 2단계에서는 1단계에서 예측수요를 기반으로 결정된 기본물량을 날씨 등의 불확실성 요인을 고려해 수정한다. Chen[3]은 수요의 변동성과 환적이 존재하는 상황에서 수익을 최대화 하는 VMI 정책의 수리모형 기반 해법을 제시하였다. Lin et al.[10]은 소매점에서 공급, 수송, 수요 등이 불확실한 상황에서 재고관리 대안들을 시뮬레이션을 이용해 분석하는 연구를 발표하였다. 대안들의 평가척도로는 소매점의 평균 재고수준과 평균 품절율을 사용하였다.

많은 기존연구에서는 매장 외에 재고를 위한 별도의 저장소가 존재하고, 재고부족 시에는 판매손실 또는 주문잔고(backlog)가 발생하는 상황을 설정하고 있다. 본 연구에서는 편의점 고유의 특성을 고려하여, 재고공간이 매장의 진열대로만 한정되어 있고 또한 재고부족 시 고객의 대체구매가 발생하는 상황에서 판매수익을 최대화 하는 제품의 진열공간 크기와 보충시점 결정을 위한 5가지 편의점 재고관리 해법을 제안한다. 그리고 고객수요의 불확실성과 마케팅 요소를 반영한 시뮬레이션 모형을 구

축하여 제안된 해법들의 성능을 평가한다. 추가로, 몇 가지 주요 입력변수의 변화에 대한 해법성능의 민감도 분석을 실시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 1장의 서론에 이어, 제 2장에서는 연구대상 편의점의 현재 운영상황을 기술한다. 제 3장에서는 5가지 편의점 재고관리 해법을 제안한다. 제 4장에서는 시뮬레이션을 이용한 해법들의 성능 평가와 민감도 분석을 기술한다. 마지막으로, 제 5장에 결론을 요약한다.

2. 편의점 운영환경

본 연구는 수도권 지역에서 편의점을 운영하고 있는 국내 A사를 대상으로 한다. A사의 편의점은 별도의 저장소 없이 매장의 판매대에 진열되어 있는 재고를 이용해 고객수요를 충족한다. 고객이 처음 원하는 제품의 재고가 없는 경우 고객은 구매를 포기하거나 다른 브랜드의 동일 또는 유사제품을 대체 구매한다. 대체품의 재고가 없는 경우는 구매를 포기하는 것으로 가정한다. 모든 편의점에서 판매정보는 실시간으로 POS 시스템을 이용해 본사와 물류센터로 전송된다. 각 편의점에서 고객의 제품별 대체확률은 과거 판매자료를 이용하여 추정할 수 있다[14].

편의점은 연중무휴 하루 24시간 운영되며, VMI 방식에 따라 물류센터(depot)로부터 동일한 크기의 트럭에 의해 재고를 보충 받는다. 각 편의점은 고객집단의 특성(예 : 사무실 밀집지역, 주거지역) 또는 종업원의 근무상황에 따라 오전 또는 오후의 서비스 시간대(time windows)를 요구한다. 본사에서는 매월 초 지난 한달 동안의 판매 자료를 분석하여 이를 토대로 각 편의점에 대해 새롭게 제품의 진열공간 크기를 결정하고 재고보충계획을 수립한다. 편의점에서 진열공간은 동일한 크기의 단위공간 개수로 표현된다. 한 개의 제품은 한 개의 단위공간을 차지하는 것으로 가정한다. 재고관리를 위해 전체 판매제품은 특성과 용도에 따라 한 개의 신선제품(식품)군과 다수의 일반제품군으로 분류되어 있다.

현재의 편의점 재고관리 방식은 다음과 같다. 신선제품군 제품들의 진열공간 크기는 각각의 평균 일일수요로 정한다. 신선식품군의 재고보충은 매일 이루어지며, 보충시 진열공간에 남은 물량은 자체 폐기하고, 각 제품의 할당된 진열공간을 가득 채운다. 일반제품군의 진열공간 크기는 신선제품군에 할당된 공간을 제외한 나머지를 각 제품군의 평균 일일수요에 비례적으로 나누어 정한다. 한 일반제품군 내 제품들의 진열공간 크기는 해당 제품군에 할당된 공간을 각 제품의 평균 일일수요에 비례적

으로 나누어 정한다. 일반제품군의 재고보충은 재고수준이 재보충점 이하인 모든 제품들에 대해서 이루어지며, 보충량은 해당 제품의 최대 재고수준에서 부족한 수량으로 정한다. 일반제품군의 제품별 재보충점은 평균 일일수요와 같다.

모든 배송트럭은 냉장기능을 갖추고 있으며, 물류센터에서 매일 오전 9시에 동시에 출발하여 근접거리 기준으로 수립된 경로계획에 따라 편의점들을 방문하고 오후 5시전에 돌아온다. 배송트럭은 신선제품군의 보충 때문에 매일 모든 편의점을 방문하게 된다.

12:00AM~1:00PM의 한 시간 동안은 트럭 운전자의 점심시간으로, 이 시간 동안 차량 이동과 작업은 중단된다.

편의점 운영에는 여러 가지의 비용요소가 존재한다. 고객의 제품대체 시에는 대체비, 그리고 구매포기 시에는 판매손실 외에 별도의 품질비가 발생한다. 대체비와 품질비는 일종의 고객 불만족 비용의 의미를 가진다. 편의점에서는 재고유지비(자본손실, 매장운영비 등)가 발생한다. 냉장트럭의 운영에는 고정비(구입비, 잔존가치, 감가상각비 등)와 변동비(유지보수비, 연료비 등)로 구성된 수송비가 발생한다.

3. 편의점 재고관리 해법

편의점에서 제품군 단위의 진열공간 할당과 신선제품군의 재고보충은 현재와 동일한 방식에 의해 이루어지는 것으로 설정하고, 일반제품군별로 제품의 진열공간 크기와 재고보충시점을 결정하는 5가지 재고관리 해법을 제안한다. 제품의 보충량은 최대 재고수준에서 부족한 수량으로 정한다. 제품군의 진열공간 크기가 사전에 정해져 있고 제품대체가 제품군 내에서만 이루어지는 상황에서 제품군별로 재고관리 해를 구하는 접근방법은 풀이의 편의성과 함께 근사 최적성의 관점에서 타당하다. 모든 해법에서 재고보충의 차량경로는 편의점의 요구 서비스 시간대를 엄격히 지키면서 Clarke and Wright's savings 알고리즘[4]을 동일하게 적용해 계획한다.

기호

- n : 제품군 내 품목 수
- d_i : 제품군 내 품목 i 의 평균 일일수요
- γ_{ij} : 품목 i 의 수요가 재고부족시 품목 j 로 대체될 확률
- v_i : 품목 i 의 구매가
- p_i : 품목 i 의 판매가
- a_i : 품목 i 의 개당 일일 재고유지비
- b_i : 품목 i 의 개당 품질비
- g_i : 품목 i 의 개당 대체비

- λ : 보충간격 동안 한 품목의 재고부족 최대 허용비용
- M : 매우 큰 숫자
- K : 보충간격 동안 수송비
- C : 대상 제품군에 할당된 총 진열공간 크기
- SL : 고객서비스 수준
- r_i : 품목 i 의 재보충점
- Q_i : 품목 i 의 진열공간 크기
- H : 대상 일반제품군의 재고보충간격
- L_i : 대체불허 시 보충간격 말 품목 i 의 재고수준
- L'_i : 대체허용 시 보충간격 말 품목 i 의 재고수준
- U_i : 대체불허 시 보충간격 동안 품목 i 의 품질량
- U'_i : 대체허용 시 보충간격 동안 품목 i 의 품질량
- S_{ij} : 품목 i 의 수요가 품목 j 로 대체된 수량
- τ_i : 품목 i 의 재보충점 도달여부로서 도달하는 경우는 1, 아니면 0
- ψ : 재보충기준

3.1 수리모형 기반 해법(ILPM)

일반 제품군별로 평균 일일수요를 이용해 제품대체를 고려한 정수 수리모형을 구축하여 제품의 진열공간과 제품군의 재보충기준(threshold)을 결정한다. 제품군의 보충시점은 재고보충기준의 충족여부에 따라 결정되며, 재고보충기준은 제품군에서 현재 재고수준이 재보충점 이하인 품목의 개수로서 정의된다. 수리모형의 구축은 제품군의 보충 시 모든 제품들에 대해 진열공간을 가득 채워주고 수요가 일정하게 발생한다면 재고보충기준에 따라 진열공간의 보충과 소진이 주기적 패턴을 보인다는 사실에 근거한다[14].

제품의 재보충점은 포아송 분포를 가정한 고객수요와 서비스수준 입력에 따라 아래 식을 이용해 구할 수 있다.

$$\sum_{x=0}^{r_i} \frac{e^{-d_i} \cdot d_i^x}{x!} \approx SL \quad (1)$$

한 일반제품군의 수리모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Max. } & \sum_{i=1}^n (p_i - v_i)(Q_i - L'_i) - \sum_{i=1}^n a_i (H - U_i/d_i)(Q_i + L'_i)/2 \\ & - \sum_{i=1}^n b_i \cdot U_i - \left\{ \sum_{i=1}^n g_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n S_{ij} \right\} - K \end{aligned} \quad (2)$$

s.t

$$Q_i - H \cdot d_i + U_i = L_i \quad \forall i \quad (3)$$

$$L_i U_i = 0 \quad \forall i \quad (4)$$

$$Q_i - H \cdot d_i + U_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (S_{ij} - S_{ji}) = L'_i \quad \forall i \quad (5)$$

$$L'_i U'_i = 0 \quad \forall i \quad (6)$$

$$S_{ij} \leq \gamma_{ij} U_i \quad \forall i, j \quad (7)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n S_{ij} \leq L_i \quad \forall i, j \quad (8)$$

$$L'_i - r_i \leq M(1 - \tau_i) \quad \forall i \quad (9)$$

$$L'_i - r_i > -M \cdot \tau_i$$

$$\psi = \sum_{i=1}^n \tau_i \quad \forall i \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n Q_i = C \quad \forall i \quad (11)$$

$$U_i \leq \lambda d_i \quad \forall i \quad (12)$$

$$Q_i > 0, L_i \geq 0, L'_i \geq 0, U_i \geq 0, U'_i \geq 0, S_{ij} \geq 0, \\ H > 0, \psi > 0, w_i = \{0, 1\} \quad \forall i \text{ and all are integers} \quad (13)$$

목적함수 (2)는 보충간격 동안 수익의 최대화를 추구한다. 첫째 항은 판매수입에서 구매비를 공제하고, 둘째 항은 재고유지비를 계산하고, 셋째 항은 품질비를 계산하고, 넷째 항은 대체비를 계산한다. 제품군의 보충시점과 보충량이 정해지기 전에는 목적함수 (2)에서 필요로 하는 수송비 K 의 입력 값을 알 수 없다. 따라서 임시 K 를 시작 값으로 수리모형을 반복해서 풀어 점차 정확해진 K 값을 사용하는 방법을 사용한다. 즉, H 를 1일로 설정하고, 신선제품군과 해당 일반제품군 내 모든 제품의 평균 일일수요 합을 해당 편의점의 보충량, 나머지 편의점들의 보충량은 각각 신선제품군의 평균 일일수요 합으로 정하여 차량경로계획을 수립한다. 그리고 해당 편의점이 속한 루트의 수송비(고정비와 변동비의 합)를 계산하여 루트 내 편의점들의 보충량에 비례하여 해당 편의점의 임시 K 를 구한 다음, 이 K 를 가지고 수리모형을 풀어 Q_i 와 H 를 구한다. 그리고 구해진 H 동안의 K 를 산정한다. H 동안의 수송비 계산을 위한 차량경로계획에서 해당 편의점에 대한 H 하루 전날까지의 매일 보충량은 신선제품군의 평균 일일수요 합으로 정하고, H 때의 보충량은 신선제품군의 평균 일일수요 합에 $\sum_{i=1}^n (Q_i - L'_i)$ 을 더한 값으로 정한다. 새롭게 산정된 K 를 이용하여 수리모형을 다시 풀어 Q_i 와 H 를 구한다. K 의 변화가 미미할 때까지 위 과정을 반복한다.

식 (3)은 제품대체 불허 시 보충간격 말 재고수준을 계산한다. 식 (4)와 식 (6)은 각각 재고와 품질이 동시에 발생하지 않게 한다. 식 (5)는 제품대체 허용 시 보충간격 말 재고수준을 계산한다. 식 (7)과 식 (8)은 제품의 대

체량을 제한한다. 식 (9)는 재고수준의 재보충점 도달 여부를 판정한다. 식 (10)은 재보충기준을 결정한다. 식 (11)은 제품군 내 제품에게 할당된 진열공간의 합이 해당 제품군에 할당된 진열공간 크기와 일치하게 한다. 식 (12)는 보충간격 동안 발생할 수 있는 각 제품의 재고부족량을 제한한다. 이것은 보충간격 동안 수익을 최대화하는 목적함수로 인해 진열공간의 모든 재고가 소진될 때까지 과도하게 보충간격이 늘어나는 것을 방지해 준다.

3.2 판매손실 기반 해법(LOSS)

일반제품군별로 일정한 시간간격 마다 재고를 보충해주는 정기보충정책을 적용할 때 보충간격 동안 품질로 인한 기대손실을 최소화하는 제품의 진열공간과 제품군의 보충간격을 결정한다. 기대손실의 평가는 제품대체에 의한 기대 대체수익과의 비교를 통해 이루어진다.

절차

단계 1 : 제품군의 모든 제품에 대하여 동일하게 $Q_i = C/n$ 만큼 진열공간을 할당한다.

단계 2 : 제품별로 최대 재고수준의 예상소진기간 Q_i/d_i 를 계산하고, 제품군 내에서 예상 소진기간이 가장 긴 제품 w 의 기간을 H 로 정한다.

단계 3 : w 를 제외한 나머지 제품 i 각각에 대해 H 동안 자신의 품질로 인한 기대손실 $(p_i - v_i + b_i)$ 와 자신의 재고부족 시 다른 제품으로 대체될 때의 기대 대체수익 $\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \gamma_{ij} \{(p_j - v_j) - (p_i - v_i) - g_i\}$ 를 계산한다.

단계 4 : 만약 기대손실이 기대 대체수익보다 큰 제품이 있다면, 그 차이가 가장 큰 제품 l 의 진열공간을 $H \cdot d_l - Q_l$ 만큼 늘려주고 제품 w 의 진열공간을 $H \cdot d_l - Q_l$ 만큼 줄여준다. 그리고 단계 2로 이동한다. 만약 기대손실이 기대 대체수익보다 큰 제품이 없다면, 현재의 H 를 해당 제품군의 보충간격으로 정한다.

3.3 Newsvendor 모형 기반 해법(NEWW)

Honhon et al.[6]의 newsvendor 모형을 기반으로 재고부족 시의 대체확률을 고려하면서 일반제품군의 제품별 진열공간과 보충간격을 결정한다. 편의점 재고관리 문제에서는 newsvendor 모형과 달리 제품군별로 저장공간의 제약이 존재하고 재고보충이 수일의 시간간격을 가지고 지속적으로 이루어진다.

보충간격 H 동안 제품 i 가 재고과다인 경우는 개당 재고유지비용 $a_i H$ 가 발생하고, 제품 i 가 재고부족인 경우는 아래와 같이 개당 재고부족비용 s_i 가 발생한다.

$$s_i = p_i - v_i + \gamma_{i,n+1} b_i + (1 - \gamma_{i,n+1}) g_i - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \gamma_{ij} (p_j - v_j) \quad (14)$$

제품 i 의 일일수요가 포아송 분포를 따를 때 상응하는 지수분포를 $f_i(x)$ 라 하자. 연속적 수요함수의 가정 하에 보충간격 동안 평균 일일비용(개당 재고유지비용과 개당 재고부족비용의 합)을 최소화하는 Q_i 와 H 를 구하는 수리모형은 다음과 같이 형성된다.

$$\begin{aligned} \text{Min. } Z = & \frac{1}{H} \sum_{i=1}^n [a_i H \int_0^{Q_i/H} (Q_i - H \cdot x) f_i(x) dx \\ & + s_i \int_{Q_i/H}^{\infty} (H \cdot x - Q_i) f_i(x) dx] \end{aligned} \quad (15)$$

s.t

$$\sum_{i=1}^n Q_i = C \quad (16)$$

식 (16)은 제품들의 진열공간 합이 해당 제품군에 할당되어 있는 공간크기와 같도록 제약한다. 이 제약식으로 인해 위 수리모형은 풀기가 쉽지 않다. 따라서 두 결정변수를 동시에 구하는 대신, H 를 1일부터 시작하여 하루씩 증가하면서 Q_i 를 반복해서 구하는 방법을 사용한다. 반복풀이는 목적함수 Z 가 오목커브인 특성을 이용하여 목적 값 Z 가 H 의 증가에 따라 점차 감소하다가 증가로 바뀐 후 3일째에 멈추고 Z 가 최저점에서의 H 와 Q_i 를 최종 해로 정한다.

매 반복에서 H 를 입력 값으로 하여 수리모형을 풀기 위해 라그랑제 승수(Lagrange multiplier) ρ 를 이용한다. 수리모형의 제약식에 라그랑제 승수를 곱하여 다음과 같은 목적식으로 바꿀 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Min. } Z = & \frac{1}{H} \sum_{i=1}^n [a_i H \int_0^{Q_i/H} (Q_i - H \cdot x) f_i(x) dx \\ & + s_i \int_{Q_i/H}^{\infty} (H \cdot x - Q_i) f_i(x) dx] + \rho \left(\sum_{i=1}^n Q_i - C \right) \end{aligned} \quad (17)$$

$dZ/dQ_i = 0$ 에 의해 다음과 같이 Q_i 결정식을 얻을 수 있다.

$$Q_i = F_i^{-1} \left\{ \frac{s_i/H - \rho}{s_i/H + a_i} \right\} \quad (18)$$

식 (18)을 사용하기 위해서는 ρ 를 구하는 식이 필요하다. 이를 위해 식 (16)에 식 (18)을 대입하여 다음과 같은 등식을 만든다.

$$\sum_{i=1}^n F_i^{-1} \left\{ \frac{s_i/H - \rho}{s_i/H + a_i} \right\} - C = 0 \quad (19)$$

포아송 분포를 따르는 제품 i 의 평균 일일수요가 μ_i 일 때, 상응하는 지수분포의 $F_i(x) = 1 - e^{-\mu_i x}$ 라는 사실에 근거하여, 식 (19)를 식 (20)과 같이 정리할 수 있다. 식 (20)에 의해 구해진 ρ 를 식 (18)에 대입해 제품의 진열공간을 결정한다.

$$-\sum_{i=1}^n \frac{1}{\mu_i} \cdot \ln \left[\frac{1 - (a_i - \rho)}{s_i/H + a_i} \right] - C = 0 \quad (20)$$

3.4 파레토 법칙 기반 해법(PART)

일반제품군별로 해당 제품들에 대해 기대수익을 기준으로 파레토(Pareto) 분석을 실시하여 3개의 그룹으로 나눈 다음, 기대수익이 큰 그룹 순으로 더 많은 진열공간을 할당한다. 재고보충은 재보충점 이하인 제품에 대해 이루어지며, 재보충점 결정은 식 (1)을 이용한다.

절차

- 단계 1 : 제품군내 제품들의 기대 일일 명목수익 $(p_i - v_i) \cdot d_i$ 를 계산하여 내림차순으로 정리한다.
- 단계 2 : 상위 $x_A\%$ 제품(A 그룹)에게 제품군에 할당된 진열공간의 $y_A\%$, 차 상위 $x_B\%$ 제품(B 그룹)에게 $y_B\%$, 하위의 나머지 제품(C 그룹)에게 남은 진열공간을 할당한다. 단, 각 그룹에 할당된 진열공간 크기는 반드시 그룹 내 제품들의 평균 일일수요 합 이상이어야 한다.
- 단계 3 : 제품군의 모든 제품들에게 개개의 평균 일일 수요 만큼의 진열공간을 기본적으로 할당한다(최소 진열공간 할당조건).
- 단계 4 : 각 그룹의 제품들에게 해당 그룹에 할당된 나머지 진열공간을 개개의 일일 기대 명목수익에 비례해서 할당한다.

3.5 공간제약 EOQ 기반 해법(EOQS)

전통적인 EOQ 모형에 다 제품 조건과 공간크기 제약을 추가하여 일반제품군별로 연간 수송비와 재고유지비의 합을 최소로 하는 제품의 진열공간을 결정한다. 수요는

일정하게 발생하고, 품질은 허용하지 않고, 조달기간은 0으로 가정한다. 재고보충은 재고수준이 0 이하인(실제 상황에서는 하루 단위로 재고보충이 이루어지므로 재고수준이 0 이하인 경우가 보편적일 것임) 제품에 대해 이루어진다. 따라서 보충량은 항상 해당 제품의 EOQ가 되며, Q_i 는 해당 제품의 EOQ와 동일한 값으로 결정된다.

한 일반 제품군의 공간제약 EOQ 수리모형은 다음과 같다.

$$Min. Z = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{D_i K}{Q_i} + \frac{A_i Q_i}{2} \right\} \quad (21)$$

s.t

$$\sum_{i=1}^n Q_i = C \quad (22)$$

여기서 D_i 는 제품 i 의 연간 수요, A_i 는 제품 i 의 개당 연간 재고유지비를 나타낸다. K 는 3.1절의 수리모형 풀이에서와 동일한 방법으로 구할 수 있다(단, $L_i = 0, i = 1, \dots, n$).

위와 같이 제약 있는 비선형 수리모형은 풀이가 복잡할 뿐만 아니라, 매우 긴 계산시간을 소요한다. 이에 따라 라그랑제 승수를 이용한 풀이방법을 사용한다. 수리모형의 제약식에 라그랑제 승수 ρ 를 곱하여 다음과 같은 목적식으로 바꿀 수 있다.

$$Min. Z = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{D_i K}{Q_i} + \frac{A_i Q_i}{2} \right\} + \rho \left(\sum_{i=1}^n Q_i - C \right) \quad (23)$$

$dZ/dQ_i = 0$ 에 의해 다음과 같이 Q_i 결정식을 얻을 수 있다.

$$Q_i = \sqrt{\frac{2D_i K}{A_i + 2\rho}} \quad (24)$$

위 식에서 Q_i 는 ρ 값에 따라 달라진다. 하지만 제약식 (22)를 만족하는 ρ 의 결정식을 간단히 구할 수가 없다. 이에 따라 ρ 를 0부터 시작해 0.1씩 증가시키면서 제품군의 제품들에 대한 Q_i 를 구하여 그들의 합이 C 에 근접하면 ρ 의 증가 폭을 점차 줄여 제약식 (22)를 충족하는 ρ 를 찾는 trial-and-error 방법을 적용해 Q_i 를 구한다.

4. 시뮬레이션을 이용한 해법 성능평가

편의점 재고관리 문제는 고객수요(고객도착, 구매제품, 구매량, 제품대체)가 동적 및 확률적 특성을 지니고 있을 뿐만 아니라, 프로모션과 같은 특별한 마케팅 요소를 포함한다. 이에 따라 Arena[8]와 Visual Basic 언어로써 한

개의 물류센터와 60개의 편의점으로 구성된 공급사슬 운영의 시뮬레이션 모형을 구축해 본 연구에서 제안한 5가지 재고관리 해법들의 성능을 평가해 보았다. 시뮬레이션 기간은 2년으로 정하여 5가지 해법들에 대해 동일한 난수집단을 사용하면서 5회씩 반복 실험하였다. 편의점에서 제품의 진열공간과 재고보충정책은 현재 본사의 운영방침과 동일하게 매달 초 지난 한달 동안 수집된 판매자료를 이용해 분석된 수요정보를 토대로 새롭게 결정하였다.

편의점에서 상품은 1개의 신선제품군과 4개의 일반제품군, 그리고 각 제품군의 품목 수는 모두 동일하게 7개로 축소 설정하였다. 편의점의 총 진열공간은 모두 동일하게 8,000개로 설정하였다. 편의점에서 처음 한 달 동안의 고객수요는 다음과 같은 방법을 이용해 설정하였다. 신선제품군 제품들에 대해서는 [5, 15], 4개 일반제품군 제품들에 대해서는 각각 [10, 25], [25, 40], [20, 50], [40, 55]의 구간에서 임의로 추출한 값을 할당한 다음, 이들의 총합을 일일 평균 고객 수, 총합에 대한 제품군별 합 비율을 각 제품군의 구매확률, 제품군의 합에 대한 각 제품 값의 비율을 제품군 내 해당 제품의 구매확률로 정하였다. 고객의 구매수량 확률로 1개는 60%, 2~5개는 각각 10%로 정하였다.

일부 고객에 대해서는 설정된 다 제품군 구매확률, 앞서 정한 제품군 및 제품의 구매확률과 제품의 구매수량 확률을 함께 적용하여 다 제품군 제품들의 다량 구매를 구현하였다. 편의점의 위치를 고려하여 도심지역과 외곽지역에서 낮 시간대의 고객 도착비율을 각각 0.6과 0.4로 다르게 설정하였다. 매달 초 한 개 제품을 임의로 선정하여 10일 동안 2+1 프로모션(2개를 구매하면 무료로 1개를 덤으로 줌)을 시행하였다. 구매하려는 제품의 재고부족 시 고객의 제품대체 및 포기확률은 제품군별로 다르게 설정하였다. 고객의 도착은 포아송 분포를 따르는 것으로 가정하였다.

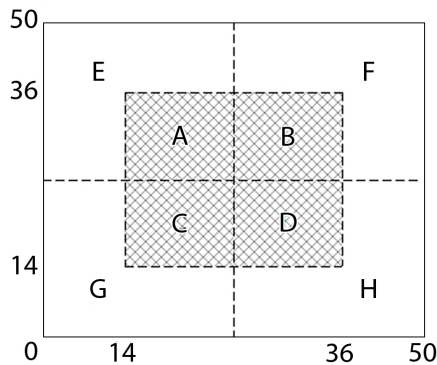
편의점의 운영비용은 A사의 실제운영을 참고해 합리적으로 설정하였다. 일일 재고유지비는 제품가의 3%, 차량고정비는 일일 50,000원, 차량변동비는 단위거리 당 1,200원으로 설정하였다. 품질비와 대체비는 편의점 고유특성을 고려해 각각 제품가의 10%와 5%로 높게 설정하였다. 모든 편의점에서 제품가격은 동일하게 <Table 1>과 같이 설정하였다.

편의점은 x 와 y 좌표 각각 [0, 50]와 [0, 50] 구간의 정사각형 구역 내에 산재해 있다. 전체구역을 <Figure 1>과 같이 8개의 소구역으로 나누어서 각 소구역 내 편의점들의 서비스 시간대를 동일하게 설정하였다. A~D는 도심지역, E~H는 외곽지역에 해당된다. 물류센터는 도심과 외곽지역의 경계에 근접한 좌표 (37, 37)에 위치하였다. 물류센터에서는 항상 충분한 재고를 가지고 있으며, 매일 배송을 위해 충분한 대수의 동일한 크기의 트럭이 이용 가능한 것으로 가정하였다.

<Table 1> Product Sales Price at Convenience Stores

(monetary unit : won)

	Product1	Product2	Product3	Product4	Product5	Product6	Product7
Fresh product group	700	4500	3500	4000	1500	1000	2500
General product group 1	6000	1800	4000	1100	2400	3000	4500
General product group 2	3200	2900	2900	3500	4000	2400	4700
General product group 3	8900	5200	6000	7500	5400	6700	5500
General product group 4	14400	13400	10000	10600	9200	9600	10400



<Figure 1> Division of Service Area of Convenience Stores

시뮬레이션 분석을 위해 60개 편의점의 위치분포를 두 가지 형태로 구성하였다. 즉, (i) 균일분산: 편의점을 전 지역에 걸쳐 고르게 위치. (ii) 도심밀집: 전체 편의점의 60%를 도심지역, 나머지를 외곽지역에 위치. 균일분산 형태는 편의점이 비교적 전 지역에 고르게 분포되어 있는

지방의 경우 그리고 도심밀집은 편의점이 인구의 유동성이 높은 도심의 상업지역에 밀집되어 있는 도시의 경우를 설정하고 있다. 해법풀이를 포함한 모든 실험은 IBM 호환 Pentium IV PC(AMD Athlon 64 X2 Dual Core Processor 4200+, CPU 2.21GHz, 1GB RAM)에서 실행되었다.

현재의 운영해법과 5가지 제안된 해법을 적용하여 위치분포별 시뮬레이션에 의해 구해진 한 개 편의점의 평균 일일수익이 <Table 2>와 <Table 3>에 정리되어 있다. 수익증가율은 현재 해법에 대한 제안된 해법의 수익 증가분 비율이다. <Figure 2>는 위치분포별로 현재와 5가지 제안된 해법에 대해 한 개 편의점의 평균 일일수익의 95% 신뢰구간을 보여준다. <Table 2>와 <Table 3>으로부터 두 위치분포 모두에서 제안된 모든 해법이 현재의 운영해법과 비교하여 평균적으로 더 많은 수익을 제공할 수 있다. 균일분산의 경우에는 ILPM과 NEWV가 각각 7.0%와 5.5%, 도심밀집의 경우에는 ILPM과 EOQS가 각각 9.7%와 6.2%로 가장 높은 수익증가율을 보였다.

<Table 2> Average Daily Monetary Outputs of Convenience Store(Random Distribution Case)

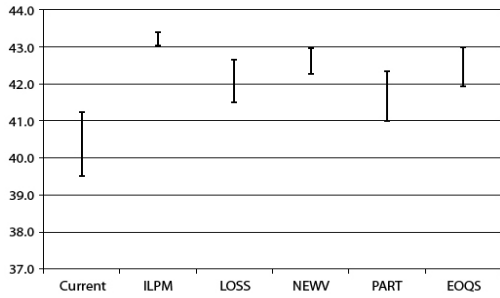
(monetary unit : won)

Solution	Revenue	Purchase cost	Lost sales cost	Substitution cost	Transportation cost	Inventory carrying cost	Profit	Profit increase rate(%)
Current	413727	268923	3833	953	90958	8687	40374	-
ILPM	471306	288675	30132	22883	77410	8992	43214	7.0
LOSS	457530	280924	32765	15613	77944	8213	42072	4.2
NEWV	458260	282838	25646	12886	86505	7773	42612	5.5
PART	433347	276476	20492	7480	79826	7407	41668	3.2
EOQS	464608	283411	23723	14496	91930	8590	42459	5.2

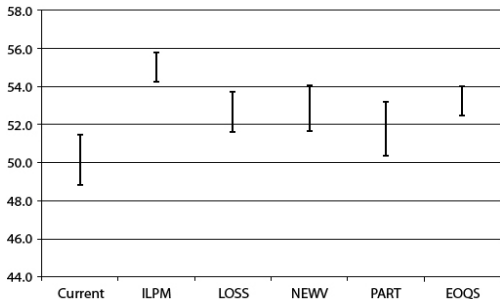
<Table 3> Average Daily Monetary Outputs of Convenience Store(Centralized Case)

(monetary unit : won)

Solution	Revenue	Purchase cost	Lost sales cost	Substitution cost	Transportation cost	Inventory carrying cost	Profit	Profit increase rate(%)
Current	426523	273828	3758	944	89246	8601	50147	-
ILPM	489230	300632	29541	22435	72773	8816	55034	9.7
LOSS	471680	286970	31810	15158	77093	7973	52675	5.0
NEWV	472433	290074	24827	12474	84687	7525	52846	5.4
PART	446750	282703	19761	7213	78148	7142	51783	3.3
EOQS	478977	290500	22921	14006	89998	8299	53254	6.2



(a) Random distribution type



(b) Centralized type

<Figure 2> Confidence Intervals of Average Daily Profit of Convenience Store for Six Solutions

<Figure 2>에서와 같이, 모든 해는 변동성이 존재한다. 비록 현재의 운영해법에 대해 제안된 해법 중 PART의 해에서만 상호 신뢰구간의 중복된 부분이 존재하지만, 현재의 운영해법과 모든 제안된 해법에 대해 각각 유의수준 5%로써 Dunnett's t-test를 실시하여 제안된 해법들의 우수성을 통계적으로 분석하였다. 위치분포별로 Dunnett's t-test의 결과가 <Table 4>와 <Table 5>에 정리되어 있다. 이에 따라 모든 위치분포에서 5가지의 제안된 해법들은 현재의 운영해법과 비교하여 더 많은 수익을 창출한다고 말할 수 있다. 이것은 현재 운영해법의 지나치게 잦은 재고보충이 비용증가의 주원인으로 작용하기 때문인 것으로 판단된다.

이어서, 해법들 간에 수행도를 평가하기 위해 유의수준 5%로써 Duncan's multiple range test를 실시하였다. 위치분포별로 현재와 5가지의 운영해법의 테스트 결과가 <Table 6>과 <Table 7>에 정리되어 있다. 두 위치분포 모두에서 해법들은 3개의 subsets으로 동일하게 분류되었으며, subset들의 평균 일일수익을 비교해 볼 때 각자 독립된 subset을 이룬 ILPM과 현재해법이 두 위치분포 모두에서 가장 우수하고 열등한 것으로 나타났다. 하지만 ILPM은 해법들 중 가장 긴 편의점 당 약 10분의 계산시간을 소요하였다.

<Table 4> Result of Dunnett's t-test(Random Distribution Type)

	Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Between groups	23949430	5	4789886	10.82	.000
Within groups	10622080	24	442587		
Total	34571510	29			
Solution		Mean difference (I-J)		Std. error	Sig.
(I)	(J)				
ILPM	Current	2840		421	.000
LOSS	Current	1697		421	.001
NEWV	Current	2237		421	.000
PART	Current	1294		421	.011
EOQS	Current	2084		421	.000

<Table 6> Result of Duncan's Multiple Range Test (Random Distribution Type)

Solution	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Current	5	40374		
PART	5		41668	
NEWV	5		42611	
LOSS	5		42071	
EOQS	5		42458	
ILPM	5			43214
Avg. of subset		40374	42202	43214
Sig.		1.000	.095	1.000

<Table 5> Result of Dunnett's t-test(Centralized Type)

	Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Between groups	65500687	5	13100137	18.9	.000
Within groups	16627760	24	692823		
Total	82128447	29			
Solution		Mean difference (I-J)		Std. error	Sig.
(I)	(J)				
ILPM	Current	4887		526	0.000
LOSS	Current	2528		526	.000
NEWV	Current	2700		526	.000
PART	Current	1636		526	.010
EOQS	Current	3107		526	.000

<Table 7> Result of Duncan's Multiple Range Test (Centralized Type)

Solution	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Current	5	50146		
PART	5		51782	
NEWV	5		52846	
LOSS	5		52674	
EOQS	5		53253	
ILPM	5			55033
Avg. of subset		50146	52638	55033
Sig.		1.000	.172	1.000

ILPM의 수행도가 가장 뛰어난 이유는 수리모형이 고객의 대체구매 행태를 가장 정확히 반영하기 때문으로 판단된다. LOSS는 대체구매를 기대손실이 최소화 되는 방향으로 반영하기 때문에 ILPM에 비해 비효율적인 것으로 보인다. 나머지 세 가지 제안된 해법(NEWV, PART, EOQS)은 명시적으로 대체를 반영하고 있지 않아 해법의 수행도에 부정적 영향을 미친 것으로 판단된다. 이러한 결과는 대체가 편의점의 진열공간 할당 및 재고관리 문제에 중요한 고려요소가 됨을 의미한다.

NEWV 외의 모든 해법은 편의점이 균일 분산되어 있는 상태 보다 도심에 밀집된 상태에서 더 많은 수익을 창출하였다. 이것은 편의점이 도심에 밀집되어 있으면 수송시간이 단축되어 수송비의 절감효과가 크고, 또한 배송 중 품질이 감소하기 때문으로 판단된다. 실험에서 편의점의 제품 수를 35개(5개 제품군×7개 품목)로 축소 설정했기 때문에, 보통 250~350개 정도의 제품을 취급하는 실제 운영상황과 비교해서 일일수익이 비현실적으로 작게 얻어졌음을 지적해 둔다.

편의점의 위치가 균일분산인 문제에 가장 성능이 좋은 해법인 ILPM을 적용해서 명목마진율($(p_i - v_i)/v_i$, p_i 는 고정), 수요변동 폭, 수송비(대당 고정비 및 단위거리 당 변동비)의 변화에 대한 수익증가율의 변화를 분석해 보았다. 민감도 분석의 결과가 <Table 8>에 정리되어 있다.

<Table 8> Sensitivity Analysis for Three Input Variables

(* : current value)

Nominal margin rate	25%	30%	35%*	40%	45%
Profit increase rate	1.7%	4.5%	7.0%	8.6%	9.3%
Multiple of demand variation interval	0.5	1.0*	1.5	2.0	2.5
Profit increase rate	5.1%	7.0%	7.6%	9.3%	11.2%
Multiple of transportation cost	0.5	1.0*	1.5	2.0	2.5
Profit increase rate	6.7%	7.0%	7.7%	9.8%	12.7%

3가지 입력변수 값의 증가는 ILPM의 수익증가율에 모두 긍정적 영향을 미쳤다. 제품의 명목마진율이 증가할수록 수익증가율은 커지지만, 그 증가폭은 점차 감소하였다. 수요변동 폭이 증가함에 따라 수익증가율이 커진 이유는 재고가 부족한 제품에 대한 대체가능성이 커지기 때문이다. 수송비가 증가함에 따라 수익증가율이 커지는데, 이것은 보충 빈도의 감소와 과학적 차량경로 계획에 의한 수송비의 절감효과가 재고부족으로 인한 비용의 증가 보다 더 커지기 때문이다.

6. 결 론

본 연구에서는 편의점에서 재고부족 시 고객의 제품 대체가 존재하는 상황에서 수익을 최대화하는 제품의 진열공간 크기와 보충시점 결정을 위한 5가지 재고관리 해법을 제안하고, 고객수요의 불확실성과 마케팅 요소를 반영한 시뮬레이션 모형을 구축하여 제안된 해법들의 성능을 평가하였다. 다음과 같은 결론을 요약할 수 있다.

- (1) 5가지 제안된 해법 중 고객의 제품대체를 명시적으로 고려하는 ILPM이 균일분산과 도심밀집의 편의점 위치분포 모두에서 각각 7.0%와 9.7%로서 현재의 운영해법 대비 가장 높은 수익증가율을 보였다. 균일분산인 경우에 NEWV가 5.5%, 도심밀집인 경우에 EOQS가 6.2%로 다음으로 높은 수익증가율을 보였다.
- (2) NEWV를 제외한 나머지 제안된 해법은 도심밀집의 경우에 더 높은 수익증가율을 보였다.
- (3) 통계적 테스트 결과, 두 위치분포에서 제안된 해법들은 모두 현재의 해법 보다 더 우수하였으며, 제안된 해법 중 ILPM이 가장 뛰어났다.
- (4) ILPM의 계산시간은 모든 해법 중에서 가장 긴 편의점 당 약 10분을 소요하였다.
- (5) 명목마진율, 수요변동, 수송비(대당 고정비 및 단위거리 당 변동비)의 증가는 ILPM의 수익증가율에 모두 양의 영향을 미쳤다.
- (6) 파레토 법칙을 기반으로 한 PART는 5가지 제안된 해법 중 수익증가율이 가장 낮게 나타났으나, 계산과 적용이 가장 용이하였다.

본 연구를 통해 개발된 제품의 진열공간 크기와 보충시점 결정을 위한 해법들은 VMI 환경의 편의점 운영과 재고관리에 효과적으로 활용됨으로써 편의점 사업의 수익증대에 크게 기여할 수 있을 것이다. 해법들의 성능을 더욱 향상시키기 위해 공통적으로 수송비의 정확한 산정, 제품대체의 명시적 반영, 누락된 비용요소 포함 등에 대한 추가연구가 필요하다.

Acknowledgement

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2013R1A1A2005302).

References

- [1] Bassok, Y., Anupindi, R., and Akella, R., Single-period multiproduct inventory models with substitution. *Operation Research*, 1999, Vol. 47, No. 7, p 632-642.
- [2] Chen, H., Construction on logistics service quality system of chain convenience stores. *Logistics Systems and Intelligent Management*, 2010, Vol. 3, p 1337-1340.
- [3] Chen, X., Hao, G., Li, X., Fai, K., and Yiu, C., The impact of demand variability and transshipment on vendor's distribution policies under vendor managed inventory strategy. *International Journal of Production Economics*, 2012, Vol. 139, No. 1, p 42-48.
- [4] Clarke, G. and Wright, J., Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 1964, Vol. 12 No. 4, p 568-581.
- [5] Davies, B.J. and Ward, P., Space allocation in UK grocery retailing. *British Food Journal*, 2000, Vol. 102, No. 5, p 406-419.
- [6] Honhon, D., Gaur, V., and Seshadri, S., Assortment planning and inventory decisions under stockout-based substitution. *Operations Research*, 2010, Vol. 58, No. 5, p 1364-1379.
- [7] Hwang, H., Choi, B., and Lee, G., A genetic algorithm approach to an integrated problem of shelf space design and item allocation. *Computers and Industrial Engineering*, 2009, Vol. 56, p 809-820.
- [8] Kelton, W., Sadowski, R.P., and Sturrock, D.T., Simulation with Arena, 4th ed., McGraw-Hill, 2007.
- [9] Kim, D.N. and Joo, S.H., Improvement and analysis on product display location in a retail store. *Journal of the Korean Production and Operations Management Society*, 2004, Vol. 15, No. 1, p 129-151.
- [10] Lin, Y., Kaihu, H., and Jinyuan, Z., Research on the optimization of retailer inventory strategy based on system dynamics simulation *9th International Conference on Service Systems and Service Management*, 2012, p 272-275.
- [11] Murray, C., Talukdar, D., and Gosavi, A., Joint optimization of product price, display orientation and shelf-space allocation in retail category management. *Journal of Retailing*, 2010, Vol. 86, No. 2, p 125-136.
- [12] Nam, I.H., Kwak, J.K., and Kim, S.U., *An efficient layout of department stores*, General Studies of Management Information in Seoul National University, 2005, Vol. 15, No. 2, p 43-57.
- [13] Park, Y.B., Jang, W.J., and Park, H.S., A heuristic for the operation problem of the vending machine system. *Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2011, Vol. 34, No. 4, p 152-161.
- [14] Park, Y.B. and Yoon, S.J., The operation of vending machine systems with stock-out-based, one-stage item substitution. *International Journal of Industrial Engineering*, 2012, Vol. 19, No. 11, p 412-427.
- [15] Rajaram, K. and Tang, C. S., The impact of product substitution on retail merchandising. *European Journal of Operation Research*, 2001, Vol. 135, p 582-601.
- [16] Tsai, P. and Huang J., Two-stage replenishment policies for deteriorating items at Taiwanese convenience stores. *Computers and Operations Research*, 2012, Vol. 39, p 328-338.
- [17] Yang, B.H., An research on the inventory replenishment policy and item allocation method in the mobile vending machine system. *Korean Journal of Logistics*, 2002, Vol. 10, No. 2, p 1-16.
- [18] Yücel, E., Karaesmen, F., Salman, F.S., and Türkay M., Optimizing product assortment under customer-driven demand substitution. *European Journal of Operation Research*, 2009, Vol. 199, p 759-768.
- [19] 2013 Convenience Stores, 2013, Korea Association of Convenience Stores.