

# 자판기 시스템 운영문제의 휴리스틱 해법 개발과 평가

박양병\*<sup>†</sup> · 장원준\* · 박해수\*\*

\*경희대학교 공과대학 산업경영공학과  
\*\*LG 디스플레이 구매팀

## A Heuristic for the Operation Problem of the Vending Machine System

Yang Byung Park\*<sup>†</sup> · Won Jun Jang\* · Hae Soo Park\*\*

\*Department of Industrial and Management Systems Engineering,  
College of Engineering, Kyung Hee University,  
\*\*LG Display, Inc.

The operation of vending machine system presents a decision-making problem which consists of determining the product allocation to vending-machine storage compartments, replenishment intervals of vending machines, and vehicle routes, all of which have critical effects on system profit. Especially, it becomes more difficult to determine the operation variables optimally when demand for a product that is out-of-stock spills over to another product or is lost. In this paper, we propose a heuristic for solving the operation problem of the vending machine system and evaluate it by comparing with Yang's algorithm on various test problems with respect to system profit via a computer simulation. The results of computational experiments show a substantial profit increase of the proposed heuristic over Yang's algorithm. Sensitivity analysis indicates that some input variables impact the profit increase significantly.

**Keywords :** Vending Machine System, Operation Problem, Computer Simulation, Vehicle Routing, Supply Chain Management

### 1. 서 론

핵가족화와 함께 맞벌이 부부, 독신자 및 심야 활동 인구가 증가함으로써 식생활에 많은 변화가 일어났으며 특히 구매의 소량화와 편의성 및 간편성을 추구하는 경향이 커졌다. 이러한 시대적 변화에 대응하여 무인으로 작동되는 자판기(vending machines, 자동판매기)가 널리 보급되어 왔다. 국내 자판기 산업은 1978년 롯데그룹이 커피 자판기를 수입해 자동판매 사업을 개시

한 이후 그 시장규모가 매년 증가하고 있다. 특히, 최근에는 자판기가 고객의 물품구매에 차량사용을 억제해 줌으로써 녹색환경 실현에 매우 긍정적 판매수단이 라는 인식 하에 일본, 미국, 중국 등에서 자판기 산업에 대한 국가적 관심이 높아지고 있다.

한국자판기협회(www.kova21.or.kr)가 발표한 자료에 의하면 2007년에 국내 자판기 보급대수는 십만 대를 초과하였으며, 최근 수년 동안 매년 약 10%씩 증가하고 있다. 자판기를 통해 구매할 수 있는 상품은 생활 전반

논문접수일 : 2011년 11월 16일    게재확정일 : 2011년 12월 15일

<sup>†</sup> 교신저자 ybpark@khu.ac.kr

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2011-0004391).

에 관련된 것으로서 음료, 음식, 담배, 티켓, 신문, 잡지, 카드, 일용품, 잡화 등 다양하며, 자판기 기술의 발전에 따라 그 종류가 확산되고 있다. 일례로, 최근에 국내 일부 업체에서는 아파트 단지를 중심으로 계란, 쌀, 밀반찬 등의 자판기를 시범 운영하고 있으며, 주부들로부터 그 호응이 기대 이상인 것으로 나타나고 있다.

수년전, IT와 인터넷을 이용하여 자판기의 판매, 재고수준, 기계 상태 등의 정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 스마트 자판기(smart vending machines)가 개발되었다. 지난해에 스페인의 Jofemar 회사는 전기 대신 자체생산 수소동력에 의해 작동하는 스마트 자판기를 선보였다[6]. 2010년 서울에서 개최된 G20 회의장에는 그래픽 디스플레이 화면에서 커뮤니케이션 기능을 갖춘 유비쿼터스 스마트 자판기가 시범적으로 설치 운영되었다. 그러나 스마트 자판기는 상당한 규모의 초기투자자와 유지비, 그리고 전문적인 시스템 관리기술이 필요하기 때문에 대부분이 영세 사업자인 국내의 경우 경제적 및 기술적 확신이 없어 도입이 매우 미흡한 현실이다.

자판기 사업형태는 크게 개인운영자와 전문 관리회사로 분류된다. 개인운영자는 휴게·놀이공간을 제공하는 곳에 여러 종류의 자판기를 설치하여 매장형태로 운영하거나 PC방, 식당 등과 같은 대중업소에 1~2대의 자판기를 설치하여 부수적인 수입을 얻을 목적으로 직접 운영한다. 전문 관리회사는 자판기 소유자로부터 위탁 관리의 요청을 받거나 또는 설치공간을 빌려 직접 자판기를 구입 설치하여 이들을 총괄 관리한다. 회사는 자판기 또는 부동산 소유주에게 계약에 따라 사용대가를 지불한다. 기업체, 학교, 관공서, 병원 등에 설치되어 있는 자판기들이 대부분 이에 해당된다.

보통, 전문 관리회사는 100~200대의 자판기를 영업소 단위로 할당하고, 각 영업소는 이들을 10~20대의 차량으로 관리한다. 영업소는 자판기의 재고관리와 유지보수, 차량운영, 판매대금 회수 등의 작업을 수행한다. 각 영업소가 자판기 시스템을 운영하는데 있어 자판기 보관함의 제품할당계획, 자판기의 재고관리, 차량경로 계획은 총수익에 영향을 미치는 중요한 의사결정문제이다. 보관함의 제품할당계획은 자판기에서 제품별 보관함 수를 결정하고, 재고관리는 자판기 재고보충주기와 물량을 결정하고, 차량경로계획은 영업소(즉, depot)를 출발하는 배송차량들의 자판기 방문경로를 결정하는 문제이다.

자판기 시스템 운영에 관한 연구는 90년도 중반부터 시작되었다. Ong et al.[12]은 소프트음료 자판기의 운영에서 수급, 재고보충, 유지 및 보수를 담당하는 인력과 배송차량의 일정을 계획하기 위한 휴리스틱 해법

을 개발하였다. Sakai et al.[14]은 음료자판기에서 fuzzy logic과 다중회귀모형을 적용한 수요예측을 통해 필요한 양만큼만 냉각함으로써 소비전력을 줄이는 방안을 제안하였다. Yang[15]은 자판기 시스템의 재고관리에서 자판기별로 다른 수의 제품별 보관함 할당과 정기재주문점 보충의 혼합방식이 품질과 보충횟수 관점에서 가장 우수함을 보였다. Miyamoto et al.[11]은 과거수요 자료를 토대로 자판기의 제품구색을 결정하는 탐색알고리즘을 개발하였다. Rusdiansyah and Taso[13]는 계획기간 동안 재고유지비와 수송비의 합을 최소로 하는 자판기 보충주기와 차량경로의 동시 결정을 위한 휴리스틱 해법을 제시하였다. You[17]는 수량할인이 있는 일간지 자판기시스템 재고문제에서 제품별 총 주문량과 각 자판기의 할당량을 결정하기 위해 지역탐색 기반의 휴리스틱 접근방법을 제시하였다.

Francis et al.[5]은 자판기 분배문제에 적용할 수 있는 주기적 차량경로문제에서 수요수준과 방문요구의 변경을 허용하면서 방문빈도와 차량경로를 결정하는 타부서치 방법을 제안하였다. DeYong[4]은 자판기 재고관리 변수들의 최적 값을 결정하기 위한 분지한계법(branch and bound technique)을 개발하였다. Aoki and Ishiduki[2]는 일본의 철도역에서 여행객 흐름자료를 토대로 필요한 티켓 자판기 수를 추정하는 계산방법을 제안하였다. Yang[16]은 자판기 시스템 운영에 적용할 수 있는 재고 및 경로문제(IRP)를 위해 연동계획과 확장된 기억세포를 이용한 새로운 복제선택 해법을 개발하였다. Huang and Lin[7]은 불확실한 수요의 IPR에서 차량경로와 보충량을 함께 결정하는 ant colony 최적화 알고리즘을 개발하였다.

자판기에서 고객이 처음 원하는 제품의 재고가 없으면 고객은 구매를 포기하거나 다른 제품을 대체 구매하고, 대체품의 재고가 없는 경우에는 구매를 포기한다. 이와 같은 고객 구매행태를 “재고부족 시 포기 및 제품 대체 모형(stock-out based, one-stage product substitution model including give-up model)”이라 부르며, 고객의 소비재 구매에서 나타나는 아주 보편적인 행위로 알려져 있다[1].

본 논문에서는 재고부족 시 고객의 구매포기 및 제품대체가 발생하는 상황의 자판기 시스템 운영문제에서 먼저 수리모형을 이용하여 자판기의 제품별 보관함 수와 보충주기를 통합적으로 결정하고, 이어서 보충 대상 자판기들에 대해 변형 nearest node selection 방법을 적용해 차량경로를 결정하는 휴리스틱 해법을 제안한다. 그리고 제안된 해법의 효과를 평가하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 시스템 수익 관점에서 기존 Yang의 해법과의 비교실험을 민감도 분석과 함께 수행한다.

저자들은 보다 사실적인 연구를 위해 국내 자판기 전문 관리업체인 (주)휘닉스 밴딩 서비스로부터 자문과 자료를 구하였다. 이 회사는 경기도 용인시에 위치하고 있으며, 전국적으로 대략 10,000대의 자판기 유통망을 갖추고 있는 중소기업이다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 1장의 서론에 이어, 제 2장에서는 자판기 시스템 운영문제의 휴리스틱 해법을 제안하고, 제 3장에서 예제풀이를 소개한다. 제 4장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 Yang의 해법과의 비교실험 및 민감도분석을 기술한다. 끝으로, 결론 및 향후과제를 제 5장에 기술한다.

## 2. 자판기 시스템 운영문제의 휴리스틱 해법

자판기 시스템에서 영업소는 매일 보충주기에 해당되는 자판기들에 대해 차량을 이용해 정해진 순서대로 방문하여 제품별로 할당되어 있는 보관함의 빈 공간을 가득 채워 넣는다. 이러한 재고관리는 periodic review, order-up-to level 방법에 해당되는데, 자판기의 실시간 재고수준을 알지 못하는 상황에서 자판기의 제품별 예상 평균수요를 토대로 운영할 수 있는 최선의 방법으로 알려져 있다[3].

자판기 시스템의 운영상황은 다음과 같다. 다 제품 자판기는 하루 24시간 연중무휴로 운영된다. 각 자판기의 제품별 수요는 포아송 분포를 따르며, 오전 0:00시부터 시작하여 6시간씩 시간대별로 시간당 평균수요가 다르다. 고객은 자판기에 원하는 제품의 재고가 없을 때 차선의 다른 제품을 구매하거나(제품대체) 또는 구매를 포기한다. 따라서 품질(lost sales)은 고객이 처음 원하는 제품의 재고가 없는 경우 곧 바로 구매를 포기하거나 또는 차선의 제품의 재고가 없을 때 발생한다. 자판기의 제품별 보충량은 해당 제품의 보관함 최대용량에서 예상 재고수준을 뺀 값으로 정해진다.

자판기의 제품별 보관함 수와 보충주기는 자판기의 수익을 최대화하는데 있어 상호 영향을 미친다. 이를테면, 제품의 보관함 수가 증가하면 수송비와 재고비를 줄이기 위해 보충주기가 길어지고, 반대로 제품의 보관함 수가 감소하면 판매 손실을 줄이기 위해 보충주기는 짧아진다. 또한, 자판기의 보충주기는 일일 차량경로결정의 입력으로 작용하면서 자판기의 수송비에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 자판기의 제품별 보관함 수와 보충주기 그리고 차량경로는 통합적으로 결정되어야 한다.

하지만 계획기간 동안 자판기 시스템의 총 기대수익 최대화를 목적으로 수립된 통합 수리모형은 결정변수인

보충주기를 다른 변수인 차량경로의 결정을 위한 지수로 사용하는 제약식을 포함하기 때문에 상용 최적화 소프트웨어로써 간단히 풀 수가 없다. 그리고 수리모형은 일일 차량경로를 결정하는 제약식으로 인해 NP-hard 문제가 된다. 게다가, 재고수준, 품질량 등의 변수는 계획기간에 비례하여 그 수가 크게 증가하기 때문에 계획기간이 늘어나면 수리모형을 합리적인 시간 내에 풀 수가 없게 된다. 이에 따라 저자들은 먼저 각 자판기의 보관함 수와 보충주기를 결정하고, 다음에 매일 보충주기에 해당되는 자판기들의 배송차량 경로를 결정하는 2단계 휴리스틱 해법을 제안한다. 최근, NP-hard 유형의 문제에 대해 효율적으로 좋은 해를 구하기 위해 풀기 어려운 통합적 접근방법 대신에 분리 접근방법(decoupled approach)을 활발히 사용하고 있다[9].

### 2.1 자판기의 제품별 보관함 수와 보충주기 결정

고정된 보충주기마다 자판기의 제품별 보관함이 가득 채워진 상태에서 평균 일일수요를 적용하면 계획기간 동안 제품별 재고수준의 변화는 보충주기마다 반복성을 가지게 된다. 이러한 성질에 근거해, 보충주기 동안 수송비를 제외한 기대 명목수익(즉, 판매수입-구매비-재고유지비-운영비)의 최대화를 목적으로 하는 혼합정수 수리모형을 아래와 같이 구축한다.

#### 입력변수

$N$  : 제품 수

$M$  : 보관함 수

$Q$  : 보관함 용량

$G$  : 차량용량

$d_{ri}$  : 자판기  $r$ 에서 제품  $i$ 의 일일 평균수요

$p_i$  : 제품  $i$ 의 판매가

$c_i$  : 제품  $i$ 의 구매가

$a_{rij}$  : 자판기  $r$ 에서 제품  $i$ 의 재고부족 시  $i$ 의 수요가  $j$ 로 대체될 확률

$\beta$  : 재고유지비 비율

$\gamma$  : 자판기 운영비 비율

$\eta$  : 품질허용 비율

#### 결정변수

$T_r$  : 자판기  $r$ 의 보충주기

$K_{ri}$  : 자판기  $r$ 에서 제품  $i$ 에 할당된 보관함 수

$F_{rij}$  : 보충주기 동안 자판기  $r$ 에서 제품  $i$ 의 수요가  $j$ 로 대체된 수량

$I_{ri}^h$  : 자판기  $r$ 에서 제품대체 불허 시 보충주기 말 제품  $i$ 의 재고수준

$I_{ri}^a$  : 자판기  $r$ 에서 제품대체 허용 시 보충주기 말 제품  $i$ 의 재고수준

$B_{ri}^b$  : 자판기  $r$ 에서 제품대체 불허 시 보충주기 동안 제품  $i$ 의 재고부족량

$B_{ri}^a$  : 자판기  $r$ 에서 제품대체 허용 시 보충주기 동안 제품  $i$ 의 품질량

$$Max. \sum_{i=1}^N \left\{ \begin{array}{l} (p_i - c_i)(QK_{ri} - I_{ri}^a) \\ -\beta p_i T_r (QK_{ri} + I_{ri}^a)/2 \\ -\gamma p_i (QK_{ri} - I_{ri}^a) \end{array} \right\} \quad (1)$$

s.t.

$$Q \cdot K_{ri} - T_r d_{ri} + B_{ri}^b = I_{ri}^b \quad \forall i \quad (2)$$

$$I_{ri}^b B_{ri}^b = 0 \quad \forall i \quad (3)$$

$$\left( \begin{array}{l} Q \cdot K_{ri} - T_r d_{ri} \\ + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (F_{rij} - F_{rji}) + B_{ri}^a = I_{ri}^a \end{array} \right) \quad \forall i \quad (4)$$

$$I_{ri}^a B_{ri}^a = 0 \quad \forall i \quad (5)$$

$$F_{rij} \leq a_{rij} B_{ri}^b \quad \forall i, j; i \neq j \quad (6)$$

$$I_{ri}^b \geq \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N F_{rji} \quad \forall i \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N K_{ri} = M \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^N p_i B_{ri}^a \leq \eta \sum_{i=1}^N p_i d_{ri} \quad (9)$$

$$\begin{array}{l} T_r > 0, K_{ri} > 0, I_{ri}^b \geq 0, \\ I_{ri}^a \geq 0, B_{ri}^b \geq 0, B_{ri}^a \geq 0, \\ \text{and all are integers.} \end{array} \quad \forall i \quad (10)$$

목적함수 (1)은 보충주기 동안 기대 명목수익의 최대화를 추구한다. 식 (2)는 자판기에서 제품대체 불허 시의 제품별 보충주기 말 재고수준과 재고부족량을 산정한다. 식 (3)은 자판기에서 제품대체 불허 시의 제품별 보충주기 말 재고수준 또는 재고부족량을 0으로 제약한다. 식 (4)는 자판기에서 제품대체 허용 시의 제품별 보충주기 말 재고수준과 품질량을 산정한다. 식 (5)는 자판기에서 제품대체 허용 시의 제품별 보충주기 말 재고수준 또는 품질량을 0으로 제약한다. 식 (6)은 제품대체 수량을 제한한다. 식 (7)은 제품별로 다른 제품의 수요대체에 사용된 수량을 재고수준 이내로 제한한다. 식 (8)은 제품별 할당 보관함 수의 합을 총 보관함 수와 같게 한다. 식 (9)는 보충기간 동안 품질로 인한

판매수입 손실을 일일 예상 판매수입의 정해진 비율 이내로 제한하는데, 저가품의 품질이 우선적으로 발생한다. 식 (10)은 변수들의 영역을 제한하며, 각 제품에 최소한 개 이상의 보관함 할당을 보장한다.

## 2.2 배송차량의 경로결정

확률적 수요환경에서 자판기 재고보충을 위한 차량 경로문제(vehicle routing problem)는 매일 보충주기에 도달한 자판기들에 대해 변화하는 보충량을 가지고 발생한다. 영업소로부터 첫 번째 방문 자판기는 이동 중 예상 판매 손실이 가장 큰 자판기로 정하고, 이어서 차량의 용량과 운행시간 제약을 고려하면서 가장 인접한 자판기를 계속 연결하여 차량경로를 결정하는 변형 nearest node selection 방법을 제안한다.

입력변수

$\tilde{d}_{ri}$  : 배송시간대 동안 자판기  $r$ 에서 제품  $i$ 의 시간당 수요

$e_{gh}$  : 자판기  $g$ 에서  $h$ 까지 이동시간(단, 영업소는 0)

$l_h$  : 자판기  $h$ 에 차량 도착시간

$w_h$  : 자판기  $h$ 에서 서비스(작업)시간

$U$  : 일일 차량 운행시간 상한

$\Psi$  : 부분경로 구성 후 차량의 여유용량

$\delta_{ri}$  : 자판기  $r$ 에 제품  $i$ 의 배송량

$I_{ri}^c$  : 영업소 출발 시 자판기  $r$ 에서 제품  $i$ 의 재고수준

$S_{ri}$  : 영업소 출발 시 자판기  $r$ 에서 제품  $i$  보관함의 부족량

$EB_{ri}^a$  : 이동 중 자판기  $r$ 에서 제품대체 허용 후 제품  $i$ 의 예상 품질량

$EB_{ri}^b$  : 이동 중 자판기  $r$ 에서 제품대체 허용 전 제품  $i$ 의 예상 재고부족량

$EF_{rij}$  : 이동 중 자판기  $r$ 에서 제품  $i$ 의 수요가  $j$ 로 대체된 예상 최대량

순서 1 : 아직 경로에 포함되지 않은 모든 자판기  $r$ 에 대해 첫 번째 방문지로서 예상 명목수익의 손실  $EL_r$ 을 계산하여 가장 큰 값의 자판기  $r'$ 를 새로운 경로의 첫 번째 방문지점으로 정한다. 그리고  $\delta_{r'i} = S_{r'i} \forall i, \Psi = \Psi - \sum_{i=1}^N \delta_{r'i}$ .

$$EL_r = \sum_{i=1}^N (p_i - c_i) EB_{ri}^a \quad (11)$$

$$EB_{ri}^a = \text{Max} \left\{ (\tilde{d}_{ri}e_{0r} - \tilde{I}_{ri} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (EF_{rij} - EF_{rji})), 0 \right\}$$

$$EF_{rij} = \text{Min} [a_{rij}EB_{ri}^b, \text{Max} \{ (\tilde{I}_{rj} - \tilde{d}_{ri}e_{0r}), 0 \}]$$

$$EB_{ri}^b = \text{Max} \{ (\tilde{d}_{ri}e_{0r} - \tilde{I}_{ri}), 0 \}$$

순서 2 : 아직 경로에 포함되지 않은 자판기 중에서

$$\sum_{i=1}^N S_{hi} \leq \Psi \text{과 } l_h + w_h + e_{h0} \leq U \text{의 두 조건을}$$

모두 만족하는 가장 짧은 이동시간의 자판기  $h$ 를 찾아 다음 방문지로 부분경로에 포함하고,  $\delta_{hi} = S_{hi} \forall i, \Psi = \Psi - \sum_{i=1}^N \delta_{hi}$ . 그리고

아직 경로에 포함되지 않은 자판기가 남아 있으면 순서 2를 반복하고, 아니면 종료한다. 만일 두 제약조건을 모두 만족하는 자판기가 없으면, 새로운 경로구축을 위해 순서 1로 진행한다.

### 3. 예 제

단일 영업소, 80개 자판기, 5개 품목, 90일 계획기간의 자판기 시스템 운영문제를 구축하여 제안된 해법을 적용한다. 영업소 위치는 (50, 50)으로 정하고, 자판기의  $x$ 와  $y$ 좌표 값은 각각 [0, 100]의 일양분포로부터 임의의 생성한다. 자판기의 보관함 수는 20개, 한 개 보관함의 용량은 제품 25개로 정한다. 제품별 평균 일일수요는 [120, 210]의 일양분포로부터 생성된 자판기의 평균 일일수요에 제품별 가중치를 곱한 값으로 정한다. 제품별 가중치는 제품별로 [1, 5]의 일양분포로부터 생성된 값의 총합에 대한 해당 제품 값의 비율로써 구한다. 하루를 6시간씩 4개 시간대로 나누어, 시간대별 평균 수요를 평균 일일수요에 각각 0.2, 0.4, 0.3, 0.1을 곱한 값으로 정한다. 동일 시간대에서 시간 당 수요는 일정한 것으로 가정한다.

영업소는 매일 8:00~16:00시 동안 차량을 운행한다. 자판기에서 작업은 하역, 운반, 보충, 유지보수, 수금 등을 포함하며 작업량과 관계없이 항상 30분이 소요되는 것으로 설정한다. 차량의 적재용량은 모두 동일하게 8,000개로 정한다. 지점 간은 직선거리 이동을 가정하고, 좌표상 단위거리와 차량속도는 각각 1Km와 60km/hr로 설정한다. 자판기의 품절허용 비율은 모두 0.3으로 설정한다. 영업소의 창고에는 항상 충분한 물량이 비축되어 있는 것으로 가정한다. 모든 자판기에서 고객의 제품대체

<표 1> 자판기에서 고객의 제품대체율과 판매가

Product	Substitution probabilities						Sales price
	1	2	3	4	5	Give-up	
1	-	0.4	0.1	0.05	0.05	0.4	300
2	0.2	-	0.1	0.35	0.0	0.35	500
3	0.2	0.25	-	0.1	0.15	0.3	700
4	0.2	0.1	0.3	-	0.2	0.2	400
5	0.2	0.1	0.3	0.25	-	0.15	600

율과 판매가는 <표 1>과 같다.

각종 비용은 다음과 같이 설정한다. 제품의 구매비와 단위 재고유지비는 각각 판매가의 60%와 3%이다. 차량고정비는 매일 대당 50,000원씩 사용한 대수만큼 발생한다. 차량변동비는 이동거리에 비례하여 400원/km이 발생한다. 자판기 관리비는 일일 대당 2,000원이 소요된다. 창고관리비는 모든 자판기의 평균 일일수요의 합에 비례하며, 일일 개당 10원이 소요된다. 시스템 운영비(인건비, 세금 등)는 전체 자판기 총수입의 10%에 해당된다.

수리모형은 IBM 호환 PC(AMD Athlon 64 X2 Dual Core Processor 4200+, CPU 2.21GHz, 1GB RAM)에서 LINGO 11.0[10]을 이용해 풀었으며, 차량경로결정을 포함하여 약 20분의 CPU 계산시간이 소요되었다. 제안된 해법의 적용에 의해 구한 자판기의 보충주기와 제품별 보관함 수의 해 일부가 <표 2>에 정리되어 있다. 예로서, 자판기 #2의 보충주기(즉, 4일) 동안 수입, 각종 비용, 수익 결과 값이 <표 3>에 정리되어 있다. 표에서 수송비는 자판기 #2의 첫 번째 재고보충 시점인 5일에 발생하는 해당 루트 수송비의 자판기 당 평균값을 기재한 것이다. <표 4>는 5일에 자판기 #2가 포함된 총 4대 차량의 경로 해를 보여준다.

<표 2> 예제에서 자판기의 보충주기와 제품별 보관함 수해(일부)

Vending machine no.	Replenishment interval(days)	No. of storage compartments for products				
		1	2	3	4	5
1	5	7	6	4	4	4
2	4	1	6	7	8	3
3	5	10	5	3	3	4
:	:			:		
78	4	8	4	4	2	7
79	6	2	9	6	4	4
80	4	8	6	7	1	3

<표 3> 예제에서 자판기 #2의 보충주기 동안 수입, 비용, 수익 결과

(monetary unit : ₩1,000)

Product	Revenue	Cost					Total profit
		Purchasing	Inventory carrying	Operating	Transportation		
					Fixed	Variable	
1	18.0	10.8	0.0	53.8	10.0	1.6	88.3
2	101.5	60.9	5.9				
3	166.6	100.0	9.7				
4	106.4	63.8	8.2				
5	58.8	35.3	3.0				
Sum	451.3	270.8	26.8				

<표 4> 예제에서 5일의 차량경로 해

Vehicle no.	Route	Loaded quantity	Vehicle operation time(hrs)
1	0-8-57-52-2-6-0	4,046	7.63
2	0-29-21-20-71-76-12-55-59-48-77-0	7,873	5.93
3	0-40-54-78-56-53-36-43-34-46-0	7,026	5.23
4	0-65-66-68-58-80-67-45-61-33-51-0	7,849	5.83

재고소진기간이 가장 짧은 제품에게 보관함 1개를 추가로 할당한다. 모든 보관함이 할당됐으면, 순서 4로 진행한다. 아니면, 순서 2로 돌아간다.

순서 4 : 재고소진기간이 가장 긴 제품의 보관함 1개를 줄이고, 대신 가장 짧은 제품의 보관함 수를 1개 늘려 보관함 수를 조정한다. 만일 조정 후의 최소 재고수준기간이 조정 전과 변함이 없으면, 조정 전의 제품별 할당 보관함 수와 보충주기(즉, 최소 재고소진기간)를 최종 해로 하고 종료한다. 만일 최소 재고수준기간이 조정 전과 비교하여 길어지면, 제품별 보관함 수를 조정 후의 값으로 갱신하고 순서 4를 반복한다.

## 4. 계산 연구

제안된 해법의 성능평가를 위해 자판기 시스템 운영의 실험문제에서 시뮬레이션을 이용하여 Yang[15]의 해법과 비교연구 및 민감도 분석을 실시하였다.

### 4.1 Yang의 해법

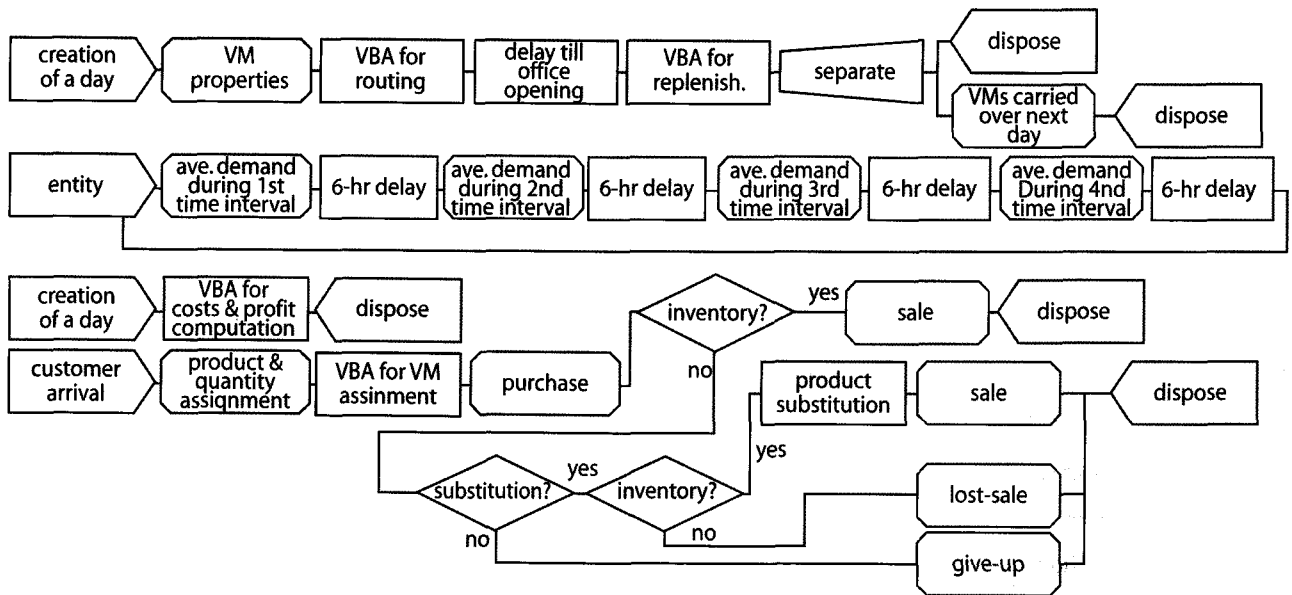
자판기의 제품별 최대 보관물량을 제품별 일일 평균 수요로 나누면 제품별 재고소진기간을 예상할 수 있다. 품절을 줄이기 위해서는 이 중에서 최소의 재고소진기간을 자판기의 보충주기로 정해야 한다. 하지만 제품별 재고소진기간의 차가 심한 경우에는 불필요하게 보충횟수와 평균재고가 늘어나게 되므로, 제품별 최대 보관물량을 조절하여 제품별 재고소진기간을 평준화해야 한다. Yang[15]은 이러한 원리를 토대로 자판기의 제품별 보관함 수와 보충주기를 동시에 결정하는 절차를 개발하여, 다른 해법들과 비교실험을 통해 그 효과를 입증하였다. Yang의 해법을 순서에 따라 정리하면 아래와 같다. 모든 자판기에 대해 아래의 과정을 반복 적용한다.

- 순서 1 : 모든 제품에 보관함 1개씩을 할당한다.
- 순서 2 : 제품별 재고소진기간을 계산한다.
- 순서 3 : 만일 아직 미 할당된 보관함이 남아 있으면,

### 4.2 시뮬레이션 모형

자판기 시스템 운영의 시뮬레이션 모형은 Arena 10.0 [8]을 이용해 구축하였다. Arena 모형은 <그림 1>과 같이 5개의 서버 네트워크로 구성된다. 첫 번째 서버 네트워크는 보충주기에 해당되는 자판기들에 대해 차량경로에 따라 재고보충을 실시한다. 두 번째 서버 네트워크는 하루 동안 6시간 간격으로 모든 자판기의 시간당 평균수요를 변경한다. 세 번째 서버 네트워크는 시스템의 각종 비용과 수익을 계산한다. 네 번째 서버 네트워크는 자판기의 고객도착을 생성하고, 제품대체를 포함한 고객의 구매행위를 실행한다. VBA(Visual Basic for Applications)는 Visual Basic으로써 직접 작성한 서버 프로그램 모듈이다.

시뮬레이션 시작시간 0은 실제 첫 날 오전 8시를 의미한다. 따라서 시뮬레이션에서 하루는 오전 8시부터 익일 오전 8시까지를 의미한다. 시뮬레이션에서 자판기 재고보충은 다음과 같이 이루어진다. 배송차량은 사전에 정해진 경로를 따라 이동하면서 방문 자판기에서 각 제품의 보관함을 가득 채운다. 확률적 수요 및 대체로 인해



〈그림 1〉 자판기 시스템 운영의 Arena 시뮬레이션 모형

현재 차량이 보유한 물량으로써 가득 채울 수 없는 경우는 가능한 만큼 최대로 채운다. 그리고 아직 차량에 물품이 남아 있으면 다음 방문 자판기로 이동한다. 중도에 차량의 적재물량이 완전히 소진되는 경우는 곧 바로 영업소로 귀환한다. 경로 상 마지막 자판기의 재고보충 후 차량에 물품이 남아 있으면 그대로 실고 귀환한다.

### 4.3 계산실험

단일 영업소, 80개 자판기, 5개 품목, 90일 계획기간의 자판기 시스템 운영문제를 구축하였다. 고객수요의 크기에 따른 제안된 해법의 성능평가를 함께 수행하기 위해, 자판기의 평균 일일수요를 생성하는 일양분포를 [30, 120], [120, 210], [210, 300]의 3가지로 설정하였다. 자판기의 일일 고객수요는 각 일양분포로부터 생성된 값을 평균으로 하는 포아송 분포를 따르는 것으로 가정하였다. 자판기의 품질허용 비율은 각 분포에서 최대의 시스템 수익을 제공하는 값을 시뮬레이션을 통해 구하여 [30, 120] 구간에서는 0.6, [120, 210] 구간에서는 0.3, [210, 300] 구간에서는 0.5로 설정하였다. 이 실험을 통해 자판기의 품질량 제한이 수익에 유의적으로 영향을 미치며, 또한 수요크기에 따라 최적 품질허용 비율이 변화함을 확인하였다. 이와 관련된 내용은 추후 민감도 분석에서 다룬다. 나머지 모든 문제 및 입력변수는 제 3장의 예제와 동일하게 설정하였다.

<표 5>는 일일 평균수요 분포가 다른 3가지 실험문제에 대해 제안된 해법과 Yang의 해법의 해로써 각각 3회씩 독립된 반복 시뮬레이션을 90일 동안 수행하여

구한 시스템 수입, 각종 비용, 수익증가율을 보여준다. 세 수요구간의 모든 문제에서 제안된 해법이 Yang의 해법과 비교하여 항상 더 많은 시스템 수익을 창출함을 알 수 있다. 이것은 제안된 해법은 Yang의 해법과 달리 자판기에서 재고부족을 허용함으로써 보충주기를 유연하게 늘릴 수 있어 품질을 더 많이 발생시키지만 이 중 상당 부분은 다른 제품으로의 대체로 판매수입을 유지하고 길어진 보충주기로 인해 수송비와 재고유지비를 감축하여 수익을 늘려주기 때문이다. 수요가 커질수록 시스템 매출과 수익이 증가함을 알 수 있다.

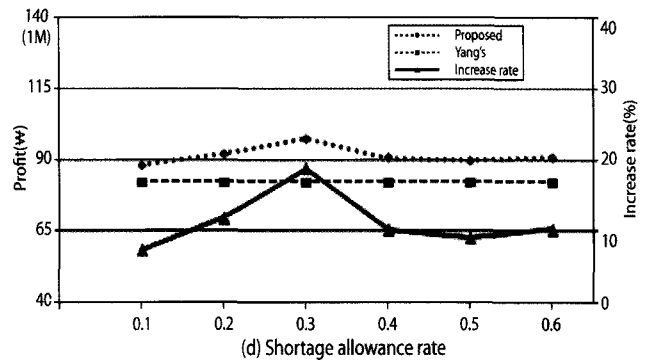
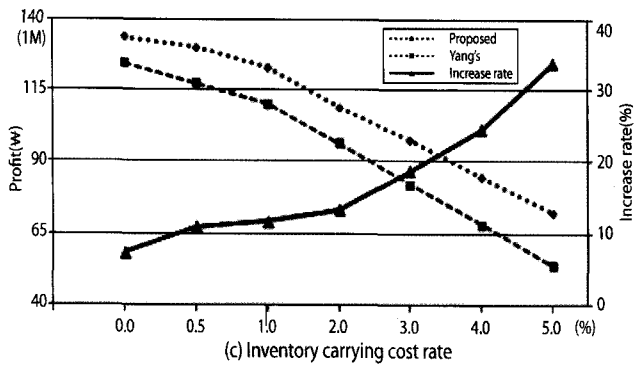
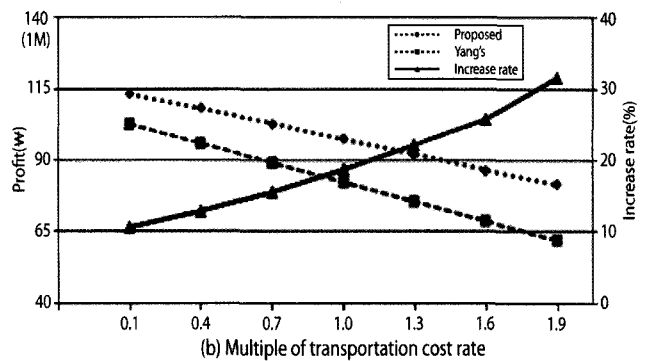
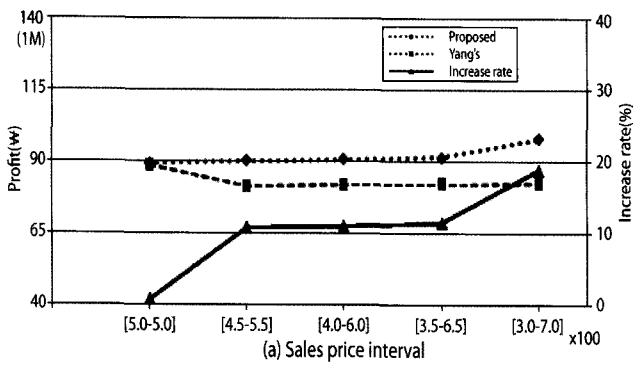
제안된 해법의 수익증가율은 평균 일일수요가 가장 작은 구간인 [30, 120]에서 39.1%로 가장 크게 나타났다. 이것은 작은 일일수요로 인해 제안된 해법의 자판기 보충주기가 상대적으로 매우 길어져 제품대체와 함께 수입 대비 수송비와 재고유지비의 절감 효과가 가장 커지기 때문이다. 중간 크기의 수요구간인 [120, 210]에서 15.4% 그리고 가장 큰 수요구간인 [210, 300]에서 11.2%로 수요크기가 커짐에 따라 수익증가율이 점차 감소함을 알 수 있다.

시스템의 입력 및 운영변수 값의 변화가 제안된 해법의 수익증가율에 미치는 영향을 평가하기 위해 민감도 분석을 실시하였다. 변수로는 제품 판매가 구간, 단위수송비 배수, 재고유지비 비율, 품질허용 비율의 4가지를 선정하였다. 민감도 분석의 기본문제로는 제 3장의 예제를 사용하였다. 제품 판매가 구간은 5개 제품 판매가의 평균을 500원으로 유지하면서 그 폭을 변화하였다. 민감도 분석의 평가척도로는 두 해법의 90일 동안 시스템 수익과 이를 토대로 계산한 제안된 해법의 수

<표 5> 제안된 해법과 Yang의 해법의 비교

(monetary unit : ₩1M)

Ave. daily demand	Solution	Revenue	Cost					Total profit	Profit increase rate(%)	Ave. rate (%)
			Purchasing	Inventory carrying	Operating	Transportation				
						Fixed	Variable			
[30, 120]	Proposed	259.8	155.9	39.0	31.3	8.7	7.5	17.5	27.0	39.1
	Yang	261.6	157.0	42.3	31.6	9.5	7.5	13.8	-	
	Proposed	266.2	159.7	40.5	32.0	8.9	7.9	17.2	40.6	
	Yang	266.8	160.1	42.4	32.2	10.9	9.0	12.3	-	
	Proposed	263.1	157.9	40.4	31.6	8.3	6.6	18.3	51.4	
	Yang	264.0	158.4	42.6	31.9	10.3	8.8	12.1	-	
[120, 210]	Proposed	578.8	347.3	37.2	69.6	17.5	13.8	93.4	14.2	15.4
	Yang	575.7	345.4	42.4	69.5	20.9	15.8	81.7	-	
	Proposed	584.4	350.6	37.1	70.3	17.5	13.8	95.1	13.6	
	Yang	580.9	348.5	41.9	70.1	20.9	15.8	83.7	-	
	Proposed	579.3	347.6	37.1	69.7	17.5	12.7	94.7	18.3	
	Yang	577.9	346.7	42.7	69.7	22.4	16.3	80.0	-	
[210, 300]	Proposed	913.7	548.2	36.3	109.1	30.5	19.9	169.7	10.2	11.2
	Yang	888.0	532.8	41.7	107.2	31.1	21.3	153.9	-	
	Proposed	916.8	550.1	35.6	109.7	29.4	19.1	173.0	12.8	
	Yang	894.7	536.8	42.3	108.0	32.6	21.6	153.4	-	
	Proposed	914.0	548.4	36.7	109.2	29.3	19.8	170.7	10.7	
	Yang	890.8	534.5	42.4	107.5	32.6	19.7	154.2	-	



<그림 2> 4가지 변수에 대한 수익증가율의 민감도 분석



익증가율을 선택하였다.

4가지 변수들에 대한 민감도 분석의 결과가 <그림 2>에 그래프로 나타나 있다. 그림에서 제품 판매가 간격이 커질수록 수익증가율이 커짐을 알 수 있다. 이것은 제품 판매가의 차이가 클수록 제안된 해법에서 저가품 품질의 고가품 대체효과가 커지기 때문이다. 단위 수송비가 커질수록 수익증가율이 커짐을 알 수 있다. 이것은 일반적으로 제안된 해법의 보충주기가 더 길어 단위 수송비가 클수록 수송비의 절감효과가 커지기 때문이다. 단위 재고유지비가 커질수록 수익증가율이 커짐을 알 수 있다. 이것은 일반적으로 제안된 해법의 보충주기가 더 길어 평균 재고수준이 낮아져서 단위재고유지비가 클수록 재고유지비의 절감효과가 커지기 때문이다. 품질허용 비율에 대한 수익증가율의 변화는 볼록 형상을 보임을 알 수 있다. 즉, 품질허용 비율이 0.3일 때까지 수익증가율은 커지다가 그 이후에는 점차 작아짐을 알 수 있다. 이것은 제안된 해법에서 품질허용 비율에 따라 보충주기가 변화하면서 제품대체, 판매수입 손실, 수송비, 재고유지비에 복합적으로 영향을 미치기 때문이다. 다시 말해서, 너무 작은 품질허용은 제품대체 효과의 감축과 함께 수송비와 재고유지비의 증가를 초래하고, 반면에 지나치게 많은 품질허용은 판매 손실의 과잉을 야기할 수 있다. 품질허용 비율이 0.7 이후의 수익증가율 변화는 설명할 수 없는 불규칙한 형태를 보였다.

## 5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 한 제품의 품질 시 다른 제품으로의 대체가 발생할 수 있는 자판기 시스템의 운영문제를 위한 휴리스틱 해법을 제안하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 기존 Yang의 해법과의 비교실험을 통해 제안된 해법의 성능을 평가하였다.

Yang의 해법과 비교하여 제안된 해법은 자판기 보충주기를 늘림으로써 계획기간 동안 수송비와 재고유지비를 줄이고 제품 대체로 품질을 줄여 모든 실험문제에서 10.2~51.4%의 탁월한 수익증가 효과를 보였다. 제안된 해법에 의한 수익증가는 가장 작은 크기의 일일수요 분포에서 가장 크게 나타났으며, 수요크기가 커짐에 따라 제안된 해법의 상대적 효과는 점차 감소하였다. 그리고 제품 판매가 구간, 단위수송비, 단위재고유지비, 품질허용 비율은 제안된 해법의 수익증가율, 즉 Yang의 해법에 대한 상대적 효과에 매우 유의적으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 수익증가율은 제품 판매가 차이, 단위수송비, 단위재고유지비가 커짐에 따라 커졌다. 하지만 수익증가율은 품질허용 비율이 커짐에 따라 볼

록 형상의 변화를 보였다.

향후과제로서, 자판기의 수송비를 포함하는 풀이 가능한 최적 해법의 개발을 제안한다. 동시에, 해 품질을 유지하면서 보다 효율성이 개선된 새로운 휴리스틱 해법의 개발이 필요하다. 또한, 제안된 해법에서 품질허용 비율이 해의 탐색과 효과에 미치는 영향을 체계적으로 분석하여 주어진 자판기 시스템 상황에서 최적의 비율을 결정하는 방법에 대한 연구가 필요하다. 그리고 요일별 수요변화가 심한 경우 이를 고려한 해법에 대한 연구도 매우 흥미 있을 것이다.

## 참고문헌

- [1] Anupindi, R., Dada, M., and Gupta, S.; "Estimation of Consumer Demand with Stock-out Based Substitution : An Application to Vending Machine Products," *Management Science*, 17(4) : 406-423, 1998.
- [2] Aoki, T. and Ishiduki, M.; "The Calculation Method of the Number of Ticket Vending Machine Installation According to the Passenger Flow," R1(TRI Report), 25 : 29-34, 2007.
- [3] Chopra, S. and Meindl, P.; *Supply Chain Management (Strategy, Panning and Operations) 4rd Edition*, Prentice-Hall, Inc., 2009.
- [4] DeYong, G. D.; "Branch and Bound Optimization of Vending Machine Service Parameters," *Decision Science*, 437-445, 2007.
- [5] Francis, P., Smilowitz, K., and Tzur, M.; "Flexibility and Complexity in Periodic Distribution Problems," *Naval Research Logistics*, 54 : 137-150, 2007.
- [6] Fuel Cells Bulletin; "Jofemar Launches Hydrogen-powered Vending Machine," January : 9-10, 2009.
- [7] Huang, S. and Lin, P.; "A Modified Ant Colony Optimization Algorithm for Multi-item Inventory Routing Problems with Demand Uncertainty," *Transportation Research Part E*, 46 : 598-611, 2010.
- [8] Kelton, W., Sadowski, R. P., and Sturrock, D. T.; *Simulation with Arena*, 4th Edition., McGraw-Hill, Inc., New York. 2007.
- [9] Li, J., Chu, F., and Chen, H.; "A Solution Approach to the Inventory Routing Problem in a Three-level Distribution System," *European Journal of Operational Research*, 210(3) : 736-744, 2011.
- [10] LINGO the Modeling Language and Optimizer-user's Guide. LINDO Systems Inc., Chicago, IL, 2008.
- [11] Miyamoto, Y., Kubo, M., and Murakami, K.; "Algo-

- rithm for the Item Assortment Problem : An Application to Vending Machine Products,” *Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics*, 20(1) : 87-100, 2003.
- [12] Ong, H. L., Ang, B. W., Goh, T. N., and Deng, C. C.; “A Model for Vending Machine Services in the Soft Drink Industry,” *Asia Pacific Journal of Operational Research*, 13 : 209-224, 1996.
- [13] Rusdiansyah, A. and Tsao, D.; “An Integrated Model of the Periodic Delivery Problems for Vending-machine Supply Chains,” *Journal of Food Engineering*, 70(3) : 421-434, 2005.
- [14] Sakai, H., Nakajima, H., Higashihara, M., Yasuda, M., and Oosumi, M.; “Development of a Fuzzy Sales Forecasting System for Vending Machines,” *Computers and Industrial Engineering*, 36 : 427-449, 1999.
- [15] Yang, B. H.; “An Research on the Inventory Replenishment Policy and Item Allocation Method in the Mobile Vending Machine System,” *Korean Journal of Logistics*, 10(2) : 2002.
- [16] Yang, B. H.; “A Clonal Selection Algorithm Using the Rolling Planning and an Extended Memory Cell for the Inventory Routing Problem,” *Korean Management Science Review*, 26(1) : 171-182, 2009.
- [17] You, P.; “A Heuristic Approach for Multiple Item and Location Ordering Problem with Quantity Discount and Capacity Constraint,” *Journal of the Operational Research Society*, 56 : 307-316, 2005.