

녹색물류 환경에서 자판기 공급사슬 운영을 위한 의사결정지원시스템의 개발

박양병[†] · 윤성준

경희대학교 공과대학 산업경영공학과

A Decision Support System for the Operations of Vending Machine Supply Chains in a Green Logistics Environment

Yang-Byung Park · Sung-Joon Yoon

Department of Industrial and Management Systems Engineering, College of Engineering, Kyung Hee University,
1 Seocheon-dong, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 446-701, Republic of Korea

Regarding the green environment, it is important to boost the spread of environmentally friendly vending machines and to operate the vehicles for their inventory replenishments while minimizing emissions of greenhouse gases. In general, the vending machine management company lacks capability to operate the supply chain effectively in an integrated way under the dynamic, complex, and stochastic environment. This paper presents a decision support system, termed DSSVM, for the operations of the general and smart vending machine supply chains with stock-out-based, one stage item substitution in a green logistics environment. The DSSVM supports the estimation of item demand and substitution probabilities, determination of operation parameters, supply chain analysis, what-if analysis, and CO₂ analysis for which various analytical models are employed.

Keyword: vending machine supply chain, decision support system, operation problem, green logistics

1. 서론

자판기(vending machines)는 미국, 일본, 한국과 같은 여러 나라에서 일상의 필수부분이 되어 있다. 미국에서는 4만개 이상의 자판기가 운영되고, 판매액이 연간 \$300억을 초과하는 것으로 추정되고 있다. 구역 당 자판기 밀도는 세계에서 일본이 가장 높다. 한국에서는 최근 수년 동안 자판기 대수가 매년 10% 이상씩 증가한 것으로 보고되고 있다(자판기제작사협회, 2009). 자판기는 주로 음료수, 식품, 스낵 등을 판매하나, 최근에 티켓, 책, 유럽의 경우 의료품에까지 확대되고 있다. 자판기의 보급은 소비자가 먼 거리를 운전할 필요 없이 근접 위치한 자판기로

도보 이동하여 물품을 구매할 수 있게 해 주어 녹색환경 관점에서 중요한 의미를 가진다.

대략 10여 년 전 자판기에 내장되어 있는 온라인 전송장치를 이용해 인터넷을 통해 먼 거리에서 판매 및 재고정보를 모니터링할 수 있는 능력을 갖춘 첨단 스마트자판기가 개발되었다. 이 전송장치는 자판기에 재고가 소진되거나 고장이 발생하면 경고 메시지를 보낼 수도 있다. Wolson(2000)은 Coca-Cola회사가 Marconi회사의 온라인 판매기술에 5년 동안 \$100만 투자를 결정한 사실을 언급하면서 스마트자판기가 자판기 산업의 미래라고 주장하였다. Gu *et al.*(2006)은 판매, 물류, 고객과 관련된 정보를 온라인상에서 관리할 수 있는 이동통신 기반의 무선

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

[†]연락처 : 박양병 교수, 449-701 경기도 용인시 기흥구 서천동 1번지, 경희대학교 공과대학 산업경영공학과,

Fax : 031-203-4004, E-mail : ybpark@khu.ac.kr

투고일(2012년 01월 17일), 심사일(2012년 03월 09일), 게재확정일(2012년 03월 19일).

자판기시스템을 개발하였다. 2009년 Jofemar회사는 미국 박람회에서 세계 최초로 자동 수송동력의 스마트자판기를 공개하였다. 최근에는 풀 HD LED 그래픽 화면에서 정보망을 통해 고객과 대화기능을 갖춘 유비쿼터스 자판기가 개발되어, 2010년 서울에서 개최된 G20 회의장에 설치되었다. 스마트자판기 정보시스템의 구성요소 및 SW 통합모형은 Qing and Pu(2011)을 참고할 수 있다.

자판기는 21C의 각광받는 환경 친화적 판매 기기임이 확실하지만, 그 보급은 기대만큼 빠르게 확산되고 있지 않다. 이것은 상당한 투자비, 빈번한 재고보충에 따른 높은 수송비, 잦은 고장으로 인한 판매 손실 및 높은 유지비, 좁은 지역에서 과도한 경쟁으로 인한 낮은 기대수익 때문인 것으로 알려져 있다. 또한, 비록 스마트자판기의 정보기술이 일반자판기가 흔히 직면하고 있는 문제점의 해결을 보장하지만, 신규 도입이든 기존 시스템의 변환이든 경제적 효과에 대한 확신 부족으로 스마트자판기에 대한 투자는 아직 미흡한 실정이다. 한국자판기제작사협회(2009)는 “국내 자판기 산업의 미래는 보다 과학적인 공급사슬 운영을 통한 자판기 관리회사의 수익창출 극대화 노력에 달려 있다.”고 주장하고 있다.

자판기 공급사슬의 운영문제는 창고 재고관리, 자판기 보관함의 품목할당, 자판기 보충주기 결정, 자판기 재고보충의 차량 경로결정으로 이루어지며, 이들은 상호 작용하면서 공급사슬의 수익과 차량의 오염물질 발생에 중요한 영향을 미친다. 자판기 공급사슬의 운영문제는 1990년도 중반부터 주로 일반자판기를 대상으로 활발히 연구되어 왔다.

Yang(2002)는 자판기시스템에서 정기조사 최대보충 재고정책이 여러 대안 중 품질과 보충빈도 관점에서 가장 적합함을 계산실험을 통해 증명해 보였다. Miyamoto *et al.*(2003)은 자판기에 적용할 수 있는 품목분류문제를 선형모형으로 구축하여 하한값을 구하고, 두 가지 탐색알고리즘을 이용해 상한 값을 구하였다. Rusdiansyah and Tsao(2005)는 자판기의 방문빈도와 차량 경로를 동시에 결정하기 위해 방문시간대가 존재하는 통합 재고 및 주기적 분배문제의 해법을 제시하였다. You(2005)는 수량할인이 있는 일간지 자판기시스템 재고문제에서 품목별 총 주문량과 각 자판기의 할당량을 결정하는 휴리스틱을 제시하였다. Francis *et al.*(2007)은 수요수준과 방문요구로 표현되는 서비스 선택이 존재하는 주기적 분배문제를 위해 Tabu search 해법을 개발하였다. DeYong(2007)은 자판기 재고관리 운영변수의 최적 값을 구하기 위해 branch-and-bound 기법을 개발하였다. Poon *et al.*(2010)은 자판기 재고보충시점을 결정하는 지표를 개발하여, 재고수준의 실시간 정보와 예측 값을 사용하는 두 경우에 대해 품질비와 수송비를 비교하는 실험을 수행하였다. 재고 및 차량경로결정문제(IRP)는 중앙공급자에 의존하는 소매점들의 재고관리에서 발생한다. IPR의 기존연구 중 재고비와 수송비의 trade-off를 최적화하는 배송정책을 다룬 연구는 자판기 재고관리에 적용할 수 있다(Huang and Lin, 2010; Moin *et al.*, 2011).

최근에 환경규제가 강화되면서 물류분야에서 더 많은 온실

가스 배출량 감축을 요구 받고 있다. 이를테면, 정부는 2012년부터 2020년까지 수송부문에서 전량치 대비 34.3%를 줄이기로 결정하였다. 탄소배출권(CER) 거래란 국제시장에서 온실가스를 뽑을 권리를 사고파는 것이다. 따라서 CO₂는 돈이다. 2009년에 전 세계의 CO₂ 거래량은 87억 톤에 달했으며, 이것은 \$1,437억에 해당된다. 이러한 녹색물류 환경에서 차량 대신 도로로 접근할 수 있는 친환경 판매기기인 자판기의 확산과 함께 이들의 재고보충을 위한 차량운행에서 발생하는 CO₂의 감축은 매우 중요하다.

지금까지 차량경로결정문제(VRP)에서 녹색물류 이슈를 다룬 연구는 매우 적다. 차량이 교통체증이나 과속으로 경제속도를 지키지 않게 되면 오염물질 배출이 증가한다. 따라서 녹색물류 환경의 VRP에서는 단순히 차량이동거리(시간)의 최소화만을 추구할 수 없다. 차량속도가 이동구역이나 시간대에 의존적이면, 교통체증 구역이나 시간대를 피해 최적속도로 이동할 수 있는 경로를 모색해야 한다. 이것은 이동거리가 증가하지만 오염물질의 감소를 의미한다. Palmer(2004)는 구매식품의 가정배달에서 차량경로와 오염물질 배출간의 관계를 연구하였다. Sbihi and Eglese(2007)는 녹색물류 분야에서 VRP를 포함하여 최적화 문제로 수식화 할 수 있는 문제를 제시하였다. 역물류를 포함하여 녹색 SCM의 모든 활동을 망라한 문헌조사가 Srivastava(2007)에 잘 정리되어 있다. 속도변화 VRP의 연구로 Chen *et al.*(2006), Donati *et al.*(2008) 등이 있다.

의사결정지원시스템(DSS)은 사용자에게 직접 데이터베이스에 접근하고, 분석모형에 자료를 입력하고, 결과를 수정하게 함으로써 의사결정과정을 지원하는 분석도구이다. Hatono *et al.*(2004)은 음료자판기의 경쟁시장에서 가격할인, 판매캐패인, 수요예측능력, 배송능력 등의 사업전략 시나리오 평가에 사용할 수 있는 DSS를 개발하였다. SCM과 관련해서는 주로 물류망 설계, 공급자 선정, 공급자주도 재고관리를 위한 DSS 개발에 연구가 이루어져 왔다. 예로서, Lei and Li(2009), Harrington *et al.*(2011) 등이 있다. DSS는 잦은 품목변경과 수요변화, 일일 배송, 그리고 복잡성 및 확률적 의사결정 특성을 지닌 자판기 공급사슬의 운영문제를 다루는데 매우 효과적인 분석도구이다.

본 논문은 녹색물류 환경에서 일반 및 스마트 자판기 공급사슬의 운영에 사용할 수 있는 DSSVM(Decision Support System for Vending Machine Operations) 이름의 의사결정지원시스템 개발을 소개한다. DSSVM은 자판기의 재고부족 시 고객의 품목대체가 발생하는 상황을 고려하며, 저자들이 개발한 절차적 해법, 수리모형, 휴리스틱, 공식, 시뮬레이션 모형 등의 다양한 분석방법을 이용하여 고객수요와 대체확률 추정, 공급사슬 운영변수 결정, 공급사슬 분석, what-if 분석, CO₂ 분석을 지원한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 1장의 서론에 이어, 제 2장에서 DSSVM의 자판기 공급사슬 운영환경을 기술한다. 제 3장에서 DSSVM의 의사결정지원 기능과 분석모형 개발을 설명한다. 제 4장에서 DSSVM의 구축과 실행을 설명한다. 끝으로, 결론과 향후과제를 제 5장에서 기술한다.

2. DSSVM의 자판기 공급사슬 운영환경

영업소는 산재해 있는 100~200대의 동일한 다 품목 자판기들을 관리한다. 영업소는 인접한 소규모 창고에 제품을 저장하고 차량을 이용해 자판기의 재고를 보충한다. 영업소는 연중 무휴 매일 08:00~16:00 동안 운영된다. 차량은 매일 영업 개시 시간에 출발하며 영업 종료시간까지 귀환하여야 한다. 자판기에 고객도착은 포아송 프로세스를 따른다. 이 설정은 연속된 고객도착이 독립적일 만큼 자판기 고객집단이 크다는 사실에 근거한 것이다.

창고는 정량발주 또는 공통정기발주 재고정책을 사용한다. 영업소는 일반자판기의 경우 실시간 재고수준이나 수요를 모르므로 사전에 정한 주기마다 모든 보관함을 가득 채워주는 정기조사 최대보충 재고정책을 사용한다. 스마트자판기의 경우 실제 재고가 사전에 정한 재보충점 이하인 품목이 사전에 정한 개수(즉, 재보충 기준) 이상이면 모든 보관함을 가득 채워주는 재보충점 최대보충 재고정책을 사용한다. 보충량은 품목별 최대보관용량에서 영업개시 시점의 재고를 뺀 수량으로 결정된다.

모든 자판기에서 재고부족을 허용한다. 고객은 구매 시 재고가 없으면 포기하거나 다른 품목으로 대체하고, 만일 대체 품목도 재고가 없으면 포기한다. 이러한 구매행태는 고객의 소비재 구매에서 나타나는 아주 보편적인 행위로 알려져 있다 (Anupindi *et al.*, 1998). 재고부족 시 고객의 품목대체 및 포기는 각각 확률로써 표현된다. 대체 시에는 대체비 그리고 포기 시에는 판매 손실과 함께 품질비가 발생한다. 대체비와 품질비는 고객의 불만족에 따른 비용이다. 자판기에서는 재고유지비와 운영비가 발생한다. 창고에서는 재고유지비와 함께 반출량에 비례한 자재취급비가 발생한다. 차량운영에는 고정비와 변동비가 발생한다.

창고의 품목재고가 당일 배송해야 할 수량보다 적은 경우는 두 방법 중 하나를 선택해 보충할 자판기를 선정한다. 첫째, 사전에 정해둔 자판기 우선순위를 적용한다. 우선순위는 자판기의 과거 판매실적을 토대로 결정할 수 있다. 둘째, 당일 보충량이 많은 자판기 우선 배송원칙을 적용한다. 확률적 수요, 품목 대체, 차량이동 중 수요발생으로 인해 자판기에 도착한 차량이 실제 채워야 할 품목별 수량(즉, 최대보관용량-현재고수준)이 계획된 보충량보다 적거나 많을 수 있다. 순회 중 차량 적재량이 채워야 할 수량에 미달이면 남은 물량으로써 보충을 하고, 차량에서 모든 품목이 소진되면 영업소로 귀환한다. 영업소 귀환 후 차량에 남은 물품은 창고에 재저장한다. 창고의 재고부족 또는 순회 중 차량의 물량부족으로 인해 당일 방문하지 못한 자판기는 익일 보충대상 자판기 그룹에 포함된다. 차량은 1톤 크기로 모두 동일하다. 차량속도는 출발 시간대와 이동구역에 따라 변화한다. 시간대는 차량운행시간인 08:00~16:00를 2시간 간격으로 4개 구간으로, 구역은 전 지역을 영업소를 중심으로 남북으로 나누어 지점 간 이동속도를 추정한다.

3. DSSVM의 의사결정지원 기능

DSSVM은 <Figure 1>에서와 같이 5개의 주 기능을 포함한다. 의사결정의 진행은 기본적으로 단계순서에 따르지만 점선의 흐름처럼 사용자가 선택할 수 있다.

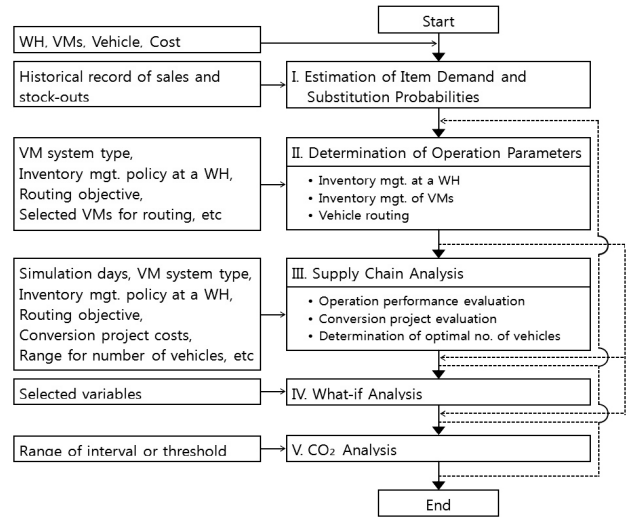


Figure 1. Decision Support Process of DSSVM

3.1 대체확률 추정

DSSVM에서는 과거 일정기간 동안 판매, 재고, 품질의 기록을 토대로 자판기에서 품목의 대체확률을 추정한다. Anupindi *et al.*(1998), Kök and Fisher(2007)는 소비재 소매판매에서 고객의 대체행위를 추정하는 이론을 제시하였으나, 분석모형에서 log 목적식 또는 비선형 제약식을 포함하거나 추정과정이 매우 복잡하여 DSS 사용에는 적합하지 않다. 이에 따라 저자들은 추정 방법을 개발하였다. Anupindi *et al.*(1998)의 실증적 연구결과에 근거하여, 추정에서 3개 이상 품목이 동시에 품질일 확률은 무시하였다.

자판기 r 에서 품목의 수요 및 대체확률 추정절차는 다음과 같다.

순서 1. 품목 i 의 평균 일일 수요를 구한다.

$$d_{ri} = \frac{A_{ri}}{E_r} \quad \forall i$$

순서 2. 단지 품목 j 가 품질 시 i 로 대체된 수량을 구한다 ($d_{ri\bar{j}}$ 는 j 가 품질 시 i 로 대체된 수량을 포함하므로 $d_{ri\bar{j}} \geq d_{ri}$).

$$f_{ri\bar{j}} = d_{ri\bar{j}} - d_{ri}$$

여기서
$$d_{ri\bar{j}} = \frac{A_{ri\bar{j}}}{E_{r\bar{j}}} \quad \forall i, j; i \neq j$$

순서 3. 단지 품목 j 와 k 가 동시에 품절 시 이들의 수요가 i 로 대체된 수량을 구한다.

$$f_{ri\bar{j}k} = d_{ri\bar{j}k} - d_{ri}$$

여기서
$$d_{ri\bar{j}k} = \frac{A_{ri\bar{j}k}}{E_{r\bar{j}k}} \quad \forall i, j, k; \quad i \neq j \neq k$$

순서 4. 단지 품목 j 와 k 가 동시에 품절 시 $j(k)$ 의 수요가 i 로 대체된 수량을 구한다.

$$f_{ri\bar{j}k} = f_{ri\bar{j}k} \left(\frac{d_{ri\bar{j}}}{d_{ri\bar{j}} + d_{ri\bar{k}}} \right) \quad \forall i, j, k; \quad i \neq j \neq k$$

$$f_{ri\bar{j}k} = f_{ri\bar{j}k} \left(\frac{d_{ri\bar{k}}}{d_{ri\bar{j}} + d_{ri\bar{k}}} \right) \quad \forall i, j, k; \quad i \neq j \neq k$$

순서 5. 품목 j 가 품절 시 발생한 j 의 평균 일일 수요를 구한다.

$$d_{rj\bar{j}} = \frac{d_{rj} \left(E_{r\bar{j}} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^N E_{r\bar{j}k} \right)}{E_r} \quad \forall j$$

순서 6. 품목 i 의 수요가 j 로 대체 및 포기확률을 구한다.

여기서 $j = N+1$ 은 포기상태.

$$a_{rij} = \frac{f_{rj\bar{i}} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i \neq j}}^N f_{rj\bar{i}k}}{d_{ri\bar{i}}}$$

$$a_{ri, n+1} = 1 - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N a_{rij} \quad \forall i, j; i \neq j$$

여기서 E_r 은 모든 품목의 재고가 존재한 누적일수, $E_{r\bar{j}}$ 는 단지 품목 j 가 품절인 누적일수, $E_{r\bar{j}k}$ 는 단지 품목 j 와 k 가 동시에 품절인 누적일수, A_{ri} 는 E_r 동안 품목 i 의 판매량, $A_{ri\bar{j}}$ 는 $E_{r\bar{j}}$ 동안 품목 i 의 판매량, $A_{ri\bar{j}k}$ 는 $E_{r\bar{j}k}$ 동안 품목 i 의 판매량을 나타낸다.

3.2 공급사슬 운영변수 결정

3.2.1 창고 재고관리

(1) 정량발주 재고정책(Q-시스템)

매일 영업개시 때 품목의 공급사슬 재고(창고 재고, 자판기 시스템 재고, 창고에서 주문 중 수량의 합)를 조사하여 재주문점이 하이면 공급자에게 EOQ를 주문한다. 각 품목의 재주문점과 EOQ는 공급사슬의 최하위 단계인 자판기 고객수요를 토대로 각각 잘 알려진 공식(Chopra, 2007)을 적용해 구한다.

(2) 공통정기발주 재고정책(P-시스템)

공통주기 마다 품목들의 공급사슬 재고를 조사하여 품목별 최대재고 수준의 부족한 수량을 공급자에게 일괄 주문한다. 공통주기와 최대재고 수준은 Ballou(2004)의 식을 이용해 구한다.

3.2.2 자판기시스템 재고관리

일반시스템의 운영변수는 자판기의 품목별 보관함 수, 보충주기, 그리고 스마트시스템의 운영변수는 자판기의 품목별 보관함 수, 재보충점, 재보충 기준이다. 모든 품목에 대해 평균 수요를 적용하면 자판기는 항상 일정한 기일 간격으로 가득 채워져 재고보충과 소진이 동일한 주기적 패턴을 보이게 된다. 이러한 성질에 근거하여, Park and Yoon(2011)은 운영변수들을 통합적으로 다루면서 자판기의 평균 일일 수익 최대화를 목적으로 하는 비선형 정수계획 수리모형을 두 시스템 각각에 대해 구축하였다.

하지만 이들 수리모형은 비선형 식으로 인해 모두 풀이에 매우 긴 계산시간이 소요되어, 신속히 해를 구해야 하는 DSS의 특성상 분석모형으로 적합하지 않다. 이에 따라 비록 해 품질은 조금 저하되지만 보다 빠른 시간 내에 해를 구할 수 있는 선형 정수계획 수리모형을 각 시스템에 대해 구축하여 DSSVM에서 분석모형으로 사용한다. 두 선형 수리모형은 보충주기 동안 제한된 품절량 내에서 수익의 최대화를 피하는 선형 목적식을 공통으로 가진다. 참고로, 80대의 5개 품목 자판기 운영문제에서 비선형 수리모형과 비교한 선형 수리모형의 성능평가 계산실험 결과, 일반과 스마트시스템에서 오차율은 각각 약 7.6%와 8.6%로 구해졌다.

수리모형에서 사용하는 부호는 다음과 같다.

r	자판기 지표($r=1, \dots, R$)
i, j	품목 지표($i, j=1, \dots, N$)
M	보관함 수
Q	한 개 보관함 용량
p_i	품목 i 의 판매가
c_i	품목 i 구매가
d_{ri}	자판기 r 에서 품목 i 의 평균 일일 수요
β_1	일일 재고유지비 비율
β_2	품절비 비율
β_3	자판기 운영비 비율
β_4	대체비 비율
G	차량용량
κ	차량고정비
v	km당 변동수송비
l_{0r}	depot 0에서 자판기 r 까지 이동거리
a_{rij}	자판기 r 에서 품목 i 가 재고부족 시 j 로 대체확률
λ	품절허용 비율
T_r	(일반) 자판기 r 의 보충주기
A_r	(스마트) 자판기 r 의 보충간 시간경과(time span)

- Ω_r 자판기 r 의 재보충 기준(replenishment threshold)
- X_{ri} 자판기 r 에서 품목 i 의 보관함 수
- F_{rij} 보충주기 동안 품목 i 의 수요가 j 로 대체된 수량
- I_{ri}^a, I_{ri}^b 자판기 r 에서 대체 허용 시와 불허 시 보충주기 말 품목 i 의 재고수준
- B_{ri}^a, B_{ri}^b 자판기 r 에서 대체 허용 시와 불허 시 보충주기 동안 품목 i 의 품질량
- $Y_{ri} = 1$ 자판기 r 에서 품목 i 의 재고가 재보충점 이하인 경우; 0 아닌 경우

(1) 일반자판기 시스템

일반 시스템에서 자판기 r 의 품목별 보관함 수와 보충주기를 구하는 수리모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 &Max. \quad \sum_{i=1}^N (p_i - c_i)(Q \cdot X_{ri} - I_{ri}^a) \\
 &\quad - \left\{ \kappa \sum_{i=1}^N (Q \cdot X_{ri} - I_{ri}^a) / G + v \cdot l_{0r} \right\} \\
 &\quad - \beta_1 \sum_{i=1}^N p_i T_r (Q \cdot X_{ri} + I_{ri}^a) / 2 - \beta_2 \sum_{i=1}^N p_i B_{ri}^a \\
 &\quad - \beta_3 \sum_{i=1}^N p_i (Q \cdot X_{ri} - I_{ri}^a) - \beta_4 \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N p_i F_{rij}
 \end{aligned} \tag{1}$$

s.t.

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

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

$$Q \cdot X_{ri} - T_r d_{ri} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (F_{rij} - F_{rji}) + B_{ri}^a = I_{ri}^a \quad \forall i \tag{4}$$

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

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

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

$$B_{ri}^a \leq \lambda d_{ri} \quad \forall i \tag{8}$$

$$\sum_{i=1}^N X_{ri} = M \tag{9}$$

$$T_r > 0, X_{ri} > 0, I_{ri}^a \geq 0, I_{ri}^b \geq 0, \quad \forall i, j; i \neq j \tag{10}$$

$$B_{ri}^a \geq 0, B_{ri}^b \geq 0, F_{rij} \geq 0, \text{ and all are integers}$$

목적함수 (1)은 보충주기 동안 수익을 최대화한다. 둘째 항에서 수송비는 추정된다. 제약식 (2)는 대체불허 시 품목의 재고 수준과 재고부족량을 계산한다. 제약식 (3)은 재고와 재고부족 중 한 가지만 발생하게 한다. 제약식 (4)는 대체허용 시 품목의 재고 수준과 품질량을 계산한다. 제약식 (6)과 제약식 (7)은 각각 대체된 수량과 대체해 준 수량을 제한한다. 제약식 (8)은 보충주기 동안 품질량을 제한한다. 제약식 (9)는 모든 보관함이 품목들에게 할당되게 한다.

(2) 스마트자판기 시스템

스마트시스템에서 자판기의 품목별 보관함 수와 재보충 기준을 구하기 위해서는 먼저 품목별 재보충점을 정해야 한다. 자판기 r 에서 품목 i 의 재보충점 U_{ri} 는 포아송 수요분포와 고객서비스 수준 SL 에 근거하여 확률변수로서 간단히 구할 수 있다. 자판기 r 의 품목별 보관함 수와 재보충 기준을 구하는 선형 수리모형은 식 (10)을 제외한 일반시스템 모형에 아래 식을 추가함으로써 완성된다. 단, 식 (1), 식 (2), 식 (4)에서 T_r 은 A_r 로 대체된다.

$$I_{ri}^a - U_{ri} \leq Big(1 - Y_{ri}) \quad \forall i \tag{11}$$

$$I_{ri}^b - U_{ri} \geq -Big \cdot Y_{ri} \quad \forall i \tag{12}$$

$$\Omega_r = \sum_{i=1}^N Y_{ri} \tag{13}$$

$$A_r > 0, X_{ri} > 0, I_{ri}^a \geq 0, I_{ri}^b \geq 0, B_{ri}^a \geq 0, B_{ri}^b \geq 0, \tag{14}$$

$$F_{rij} \geq 0, \Omega_r > 0, Y_{ri} = \{0, 1\} \forall i, j; i \neq j, \text{ all are integers}$$

제약식 (11)과 제약식 (12)는 품목별로 재고수준의 재보충점 도달 여부를 결정한다. Big 은 매우 큰 숫자를 의미한다. 제약식 (13)은 재보충 기준을 결정한다.

3.2.3 차량경로결정

차량경로결정에 구역 및 시간대에 따라 변하는 차량속도를 고려한다. 시간대 m 에 자판기 q 를 출발하여 r 까지 평균차량속도 θ_{qrm} 은 $\rho_{qr} \theta_{[q]m} + (1 - \rho_{qr}) \theta_{[r]m}$ 식으로써 추정한다. 여기서 $\theta_{[q]m}$ 은 자판기 r 이 속한 구역에서 시간대 m 의 평균차량속도를 나타낸다. ρ_{qr} 은 r 에서 q 로 이동하는 동안 $[q]$ 에서의 속도가 θ_{qrm} 에 미치는 정도를 의미하며, $0 < \rho_{qr} < 1$. q 와 r 이 다른 구역에 위치할 때, $\rho_{qr} = \{(x_r - x_q)^2 + (y_r - y_q)^2\}^{1/2} \{(50 - y_q) / (y_r - y_q)\}$ 식으로 구한다. 식에서 50은 두 구역의 y 축 경계 값이다. q 와 r 이 동일 구역에 속하면 $\rho_{qr} = 0.5$.

차량경로결정에 CO₂ 배출을 고려한다. 트럭의 주 연료인 경유의 비중은 약 0.85이고, 탄소함량은 약 86%이다. 탄소 12g이 연소될 때 CO₂가 44g정도 발생하므로, 경유 1리터(l)로 발생하는 CO₂양은 2,680g이 된다. 따라서 경유를 사용하는 1톤 트럭이 경제속도 80km/hr로 운행할 때 연비가 8km/ l 이면 약 350g/km의 CO₂가 배출된다. 차량속도가 40km/hr와 120km/hr일 때 연료소모가 경제속도를 기준으로 각각 약 20% 증가하면 CO₂ 배출량도 약 20%씩 증가하여 420g/km이 된다. 경제속도를 기준으로 차량속도가 변화함에 따라 CO₂ 배출량이 선형으로 증가한다는 가정 하에 θ_{qrm} 에 대해 km당 CO₂ 배출량의 추정 식을 유도한다 (식 (15)에서 h'_{qr} 식 참조).

차량경로결정에는 Clarke and Wright(1964)의 savings 계산식을 변형 적용한다. savings 기반 해법은 비교적 짧은 시간에 최적에 근사한 해를 구해주는 장점으로 DSS의 분석모형에 적합하다. 한 루트의 마지막 자판기 q 와 다른 루트의 첫 번째 자판기 r 을 연결함으로써 예상되는 savings, SAV_{qr} 은 차량경로결정의 목적에

따라 식 (15)에서 고정 및 변동 수송비 절약($\kappa + TSV_{qr}$), 명목수익손실 및 품질비 절약(TSL_{qr}), CO₂비 절약(TSC_{qr}) 향을 선택적으로 합하여 계산된다. 차량경로결정의 목적으로는 총비용의 최소화(CO₂비 포함 및 불포함)와 CO₂ 발생의 최소화 중 선택할 수 있다. 참고로, 2011년 10월 24일 국제 CER 거래시장에서 CO₂ 1톤당 고시가격은 28,052원이었다. CO₂ 발생 최소화 목적의 경우, $\varphi = 1$. 차량경로는 차량용량과 이동시간의 제약조건을 만족하는 가장 큰 SAV_{qr} 의 두 루트를 결합하는 작업을 $SAV_{qr} > 0$ 의 feasible 쌍이 더 이상 존재하지 않을 때까지 반복함으로써 완성된다.

$$SAV_{qr} = (\kappa + TSV_{qr}) + TSL_{qr} + TSC_{qr} \quad (15)$$

$$TSV_{qr} = v(l_{q0} + l_{0r} - l_{qr})$$

$$TSL_{qr} = \sum_{u \in \phi(r)} \sum_{i=1}^N \{p_i(1 + \beta_2) - c_i\} [\max\{\tilde{d}_{ui}n_u - I_{ui}, 0\} - \max\{\tilde{d}'_{ui}n'_u - I_{ui}, 0\}]$$

$$n'_r = n_q + \delta_q + t_{qr[n_q + \delta_q]}$$

$$TSC_{qr} = \varphi(h_{q0} + h_{0r} - h'_{qr} + \zeta)$$

$$h'_{qr} = l_{qr}(490 - 1.75\theta_{qr[n_q + \delta_q]}) \text{ if } \theta_{qr[n_q + \delta_q]} \leq 80Km/hr$$

$$l_{qr}(210 + 1.75\theta_{qr[n_q + \delta_q]}) \text{ if } \theta_{qr[n_q + \delta_q]} > 80Km/hr$$

$$\zeta = 0 \quad \text{if } n'_r = n_r$$

$$= TC(r) - h_{0r} - \sum_{(m,n) \in \psi(r)} h'_{mn} \quad \text{if } n'_r \neq n_r$$

여기서 l_{qr} 은 자판기 q 에서 r 까지 이동거리, n_u 와 n'_u 는 각각 두 루트 결합 전후의 자판기 u 도착시간, \tilde{d}_{ui} 는 u 에서 품목 i 의 시간당 평균수요, h'_{qr} 은 두 루트 결합 후 경로(q, r) 이동 중 CO₂ 배출량, δ_q 는 q 에서 서비스 시간, I_{ui} 는 depot 출발시 u 에서 품목 i 의 재고수준, $\phi(r)$ 은 결합된 루트에서 r 을 포함한 이후 모든 자판기의 집합, $\psi(r)$ 은 두 루트의 결합 전 r 을 포함한 루트에서 $(0, r)$ 을 제외한 모든 경로의 집합, t_{qrm} 은 시간대 m 에 r 을 출발하여 q 까지 이동시간, φ 는 그램당 CO₂비, $TC(r)$ 은 두 루트 결합 전 r 을 포함한 루트의 CO₂ 발생량을 나타낸다.

3.3 공급사슬 분석

자판기 공급사슬은 확률적 수요 및 품목대체와 더불어 동적 특성을 지닌다. 따라서 공급사슬 분석에 시뮬레이션 기법이 효과적이다. 공급사슬의 시뮬레이션 모형은 Arena 10.0(Kelton et al., 2007)를 이용해 구축한다. 공급사슬 분석은 운영성과 평가, 일반 시스템의 스마트시스템으로 변환프로젝트 평가, 최적 차량대수 결정을 수행한다.

운영성과 평가를 위해서는 선행단계에서 공급사슬 운영환경(시스템 형태, 창고 재고정책, 차량경로결정 목적)에 대해 운영변수가 결정되어 있어야 한다. 운영성과는 공급사슬 수익(수입, 비용, CO₂ 발생량 포함)으로 평가된다. 변환프로젝트 평가는 스마트시스템의 투자비(I/C 구입비, SW 구매비, 시스템통합비,

기술자 교육비 등)와 연간 기대수익의 증가액으로써 계산된 투자회수기간(ROI)에 의해 이루어진다. ROI는 스마트시스템의 경제적 불확실성을 고려할 때 투자의 중요한 평가척도가 된다. 대부분의 업체는 차량을 자체적으로 운영한다. 이 경우 차량 고정비는 보유차량에 비례해 발생하므로 최적 차량대수의 결정은 중요하다. 차량이 많으면 불필요하게 고정비가 증가하고, 반대로 적으면 자판기 재고보충이 지연되어 판매 손실이 늘어난다. 최적 차량대수는 Arena에 내장된 OptQuest 툴을 실행하여 구한다. OptQuest 툴은 global 최적 해를 보장하지 않으며, 단지 주어진 범위 내에서 탐색한 최적 결과를 제시한다.

3.4 What-if 분석

What-if 분석은 현재의 공급사슬 운영환경에서 주요 문제 입력변수 값(자판기 보관함 수와 용량, 각종 비용, 수요, 서비스 수준 등)을 변경할 때 이에 따른 공급사슬 운영변수와 운영성과의 변화를 알아보기 위한 것으로서, 다양한 가상 시나리오에 대한 공급사슬 운영을 분석해 보는데 유용하다. 선택된 입력변수에 따라 해당 운영변수 결정 분석모형과 Arena 모형을 실행한다.

3.5 CO₂ 분석

자판기 공급사슬에서 자판기 재고보충을 위한 차량운행은 온실가스인 CO₂를 발생한다. 우선적으로, CO₂ 배출을 최소화하는 경로를 결정하여 차량을 운행함으로써 CO₂ 배출량을 관리할 수 있다. 하지만 공급사슬에서 CO₂ 배출은 보다 근본적으로 자판기의 재고보충 빈도에 영향을 받는다. 재고보충 빈도는 일반시스템은 보충주기, 스마트시스템은 재보충점과 재보충기준에 의해 결정된다. CO₂ 분석은 현재의 공급사슬 운영환경에서 시스템 형태에 따라 모든 자판기의 보충주기 또는 재보충 기준을 주어진 범위 내에서 일정하게 증감함으로써 예상되는 공급사슬 수익과 CO₂발생의 변화를 Arena 모형을 실행하여 분석한다. 또한, CO₂ 배출 100g당 기대수익을 계산하여 수익과 CO₂ 배출을 동시에 고려하면서 보충주기 또는 재보충 기준을 조정할 수 있는 정보를 제공한다.

4. DSSVM의 구축과 실행

DSSVM의 운영구조는 <Figure 2>와 같이 GIS, 분석모듈, Arena 모형과 OptQuest 툴, Lingo, 입력 및 해 DB, 출력연결 프로그램으로 이루어져 있다. 주 실행메뉴는 Data Input과 5가지 의사결정 기능으로 구성된다. 사용자와 시스템 간의 입출력은 OptQuest 툴을 제외하고 모두 Visual Basic 환경에서 이루어진다. DSSVM 검증에는 what-if 분석 기능을 이용해 주요 변수 값들의 변경에 대한 운영성과 척도의 변화를 확인하는 방법을 적용하였다.

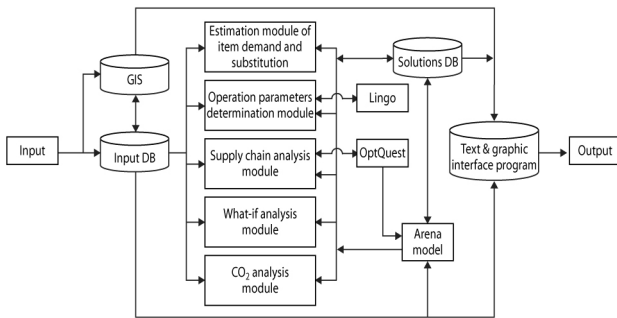


Figure 2. Operating structure of DSSVM

사용자의 자료입력과 편집은 기본적으로 화면에 제공된 입력 창을 통하지만, DSSVM 폴더 내 information.xls 파일을 열어 직접 작업도 가능하다. 엑셀파일에 저장해 둔 자료를 화면에 불러와 편집할 수도 있다. SpeedGeoX 1.0(2002) GIS와 연동하여 화면에 전자지도를 배경으로 영업소와 자판기의 지리적 위치를 나타내고 지점 간 이동거리를 자동으로 산정한다. GIS를 사용함으로써 전자지도 화면에서 편집버튼과 마우스를 이용해 자판기의 추가 및 삭제, 관련정보(자판기명, 우선순위 등)의 입력 및 수정을 할 수 있다. 모든 출력은 입력 DB, GIS, 해 DB와 연동되는 출력연결 프로그램을 이용해 텍스트, 표, 그래프 형태로 제공한다. DSSVM의 시작단계인 Data Input 기능은 자판기, 창고, 차량, 비용의 총 4개 항목으로 구성되어 있으며, 직접 입력하거나 엑셀파일에 저장되어 있는 해당 자료를 불러올 수 있다. <Figure 3>은 자판기에 대한 자료입력 화면 예를 보여준다.

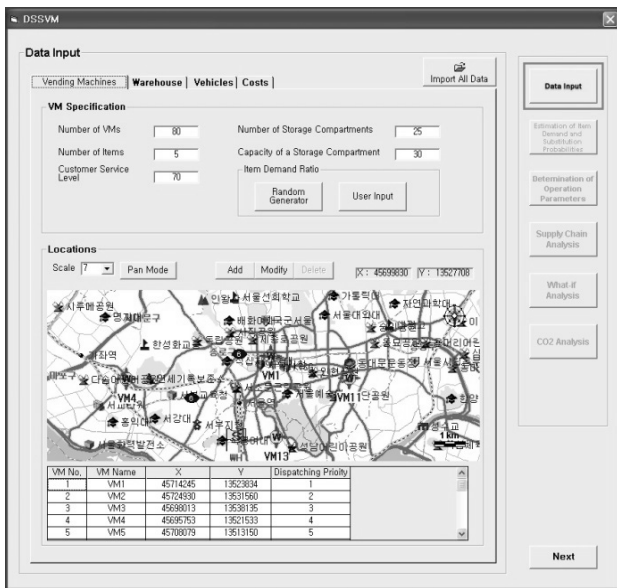


Figure 3. Example of Data Input Screen for Vending Machines

Estimation of Item Demand and Substitution Probabilities 기능에서는 직접입력 또는 추정알고리즘 실행의 선택이 가능하다. 알고리즘은 엑셀파일에 저장되어 있는 과거 판매 및 재고자료를 불러와 실행된다. <Figure 4>는 알고리즘 실행 후 품목별

평균 일일 수요와 대체확률의 출력화면 예를 보여준다. Determination of Operation Parameters 기능은 창고 재고관리, 자판기 재고관리, 차량경로결정의 총 3개 항목으로 구성되어 있으며, 선택에 따라 해당 분석모듈과 연동되어 해를 구한다.

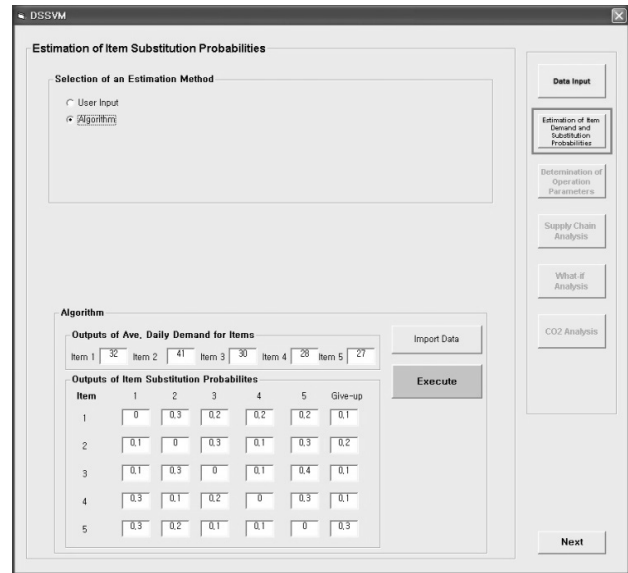


Figure 4. Example of output screen for an estimation of item demand and substitution probabilities

Supply Chain Analysis, What-if Analysis, CO₂ Analysis 기능은 Arena 모형과 연동한다. Arena 모형의 실행에 필요한 입력 자료는 사용자, 입력 DB, 해 DB로부터 제공받는다. Arena 모형은 엑셀파일과 입출력 연결을 위해 VBA 사건과 VBA 블록모듈을 사용한다. Arena 모형에서 매일의 차량경로는 시스템 형태에 따라 보충주기 또는 재보충 기준에 근거하여 선정된 자판기들을 대상으로 영업개시 때 자판기의 품목별 예상 또는 실제 재고정보를 통해 savings 기반 알고리즘을 적용해 결정된다.

Supply Chain Analysis 기능은 운영성과 평가, 스마트시스템으로 변환프로젝트 평가, 최적 차량대수 결정의 총 3개 항목으로 구성되어 있다. <Figure 5>는 변환프로젝트의 출력화면 예를 보여준다. 최적 차량대수 결정을 위한 OptQuest 툴과 연동은 Arena flowchart 창의 메뉴에서 Tools>OptQuest 선택을 통해 이루어진다. OptQuest가 제시하는 창을 통해 자료를 입력하면, 실행 후 OptQuest가 제공하는 텍스트와 그래프 출력을 보게 된다. <Figure 6>은 What-if Analysis 기능에서 품목 2와 품목 3의 판매가, 창고의 단위 재고유지비, 두 개 자판기의 일일 수요 변경에 대한 운영변수와 운영성과의 출력화면 예를 보여준다. CO₂ Analysis 기능에서는 시스템 형태에 따라 모든 자판기에 대한 보충주기 또는 재보충 기준의 최적 값 중심으로 공통의 상한 및 하한 간격을 입력으로 요구한다. <Figure 7>은 CO₂ Analysis 기능의 출력화면 예를 보여준다. 일반시스템에서 보충주기가 길어짐에 따라 CO₂ 발생이 감소하고, 현재의 보충주기 때 CO₂ 100g당 평균 수익이 가장 높음을 알 수 있다.

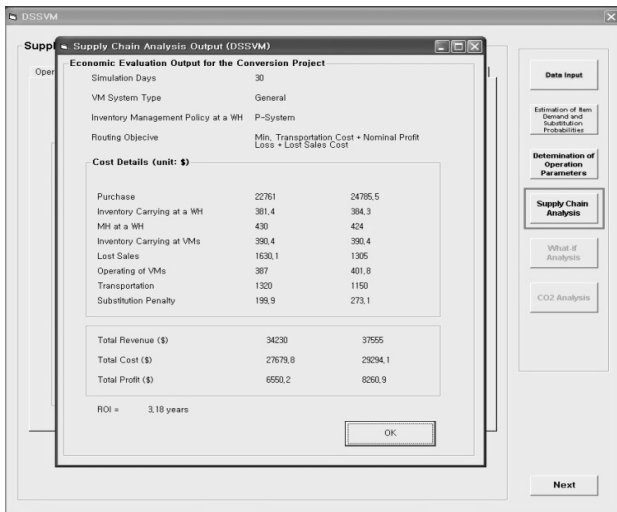


Figure 5. Example of Output Screen for an Evaluation of Conversion Project to Smart System



Figure 6. Example of Output Screen for a What-If Analysis

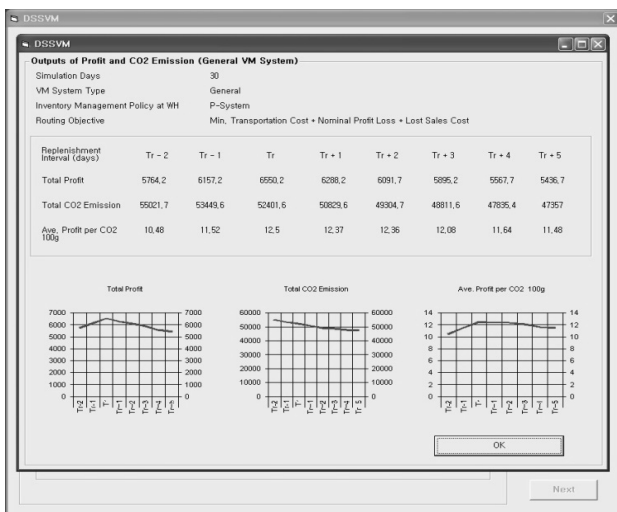


Figure 7. Example of Output Screen for a CO₂ Analysis

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 자판기의 재고부족 시 고객의 품목대체 및 포기가 발생하는 상황에서 영업소 창고와 다수 자판기로써 구성된 일반 및 스마트 자판기 공급사슬의 운영에 사용할 수 있는 DSSVM 이름의 의사결정지원시스템 개발을 소개하였다. DSSVM은 저자들이 개발한 절차적 해법, 수리모형, 휴리스틱, 공식, 시뮬레이션 모형 등의 다양한 분석방법을 이용하여 고객수요와 대체확률 추정, 공급사슬 운영변수 결정, 공급사슬 분석, what-if 분석, CO₂ 분석을 지원한다. DSSVM의 구조는 GIS, 5개 분석모듈, Arena 모형과 OptQuest 툴, Lingo, 2개 엑셀 DB, 출력연결 프로그램으로 이루어져 있다. DSSVM은 녹색물류 환경에서 효과적인 공급사슬 운영을 가능하게 해 줌으로써 수익증가, 차량의 CO₂ 배출 감축, 투자 리스크 감소 등의 혜택을 제공할 것이다.

향후, DSSVM의 추가 기능으로 중앙 공동 물류센터의 재고 관리, 자판기 입지결정, 자판기 정비 인력계획 등의 운영변수 결정뿐만 아니라 다른 자판기 업체와의 경쟁 환경에서 가격할인, 판매촉진, 배송능력 조정 등의 다양한 사업전략 시나리오 평가를 고려할 수 있다. 또한, 자판기 재고관리의 운영변수 결정을 위해 보다 효율적인 휴리스틱을 개발하여 DSSVM의 실행 시간을 단축하는 연구가 필요하다. 끝으로, 최적 차량대수 결정에서 OptQuest 툴을 대신하는 자체 분석 툴의 개발이 요구된다. 저자들은 DSSVM이 지속적인 보완연구를 통해 완전한 DSS로 개발되어 자판기 관리업체의 생산성을 향상하는 값진 도구로 활용되기를 기대한다.

참고문헌

Anupindi, R., Dada, M., and Gupta, S. (1998), Estimation of consumer demand with stock-out based substitution : An application to vending machine products, *Marketing Science*, 17(4), 406-423.

Ballou, R. H. (2004), *Business Logistics/Supply Chain Management*, 5th ed., Pearson Education, Inc., NJ, USA, 361.

Chen, H., Hsueh, C., and Chang, M. (2006), The real-time time-dependent vehicle routing problem, *Transportation Research Part E*, 42, 383-408.

Chopra, C. and Meindl, P. (2007), *Supply Chain Management : Strategy, Planning and Operations*, 3rd ed., Pearson Education, Inc., NJ, USA, 330-331.

Clarke, G. and Wright, J. (1964), Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points, *Operations Research*, 12(4), 568-581.

DeYong, G. D. (2007), Branch and bound optimization of vending machine service parameters, *Decision Science*, 437-445.

Donati, A. V., Montemanni, R., Casagrande, N., Rizzoli, A. E., and Gambardella, L. M. (2008), Time dependent vehicle routing problem with a multi ant colony system, *European Journal of Operational Research*, 185, 1174-1191.

Francis, P., Smilowitz, K., and Tzur, M. (2007), Flexibility and complexity in periodic distribution problems, *Naval Research Logistics*, 54, 136-150.

Gu, H., Qiao, S., and Tian, J. (2006), A wireless vending machine system based on GSM, *Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, 2, 8501-8504.

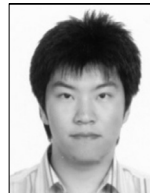
Harrington, L. H., Boyson, S., and Corsi, T. M. (2011), *X-SCM : The new science of X-treme supply chain management*, Chap. 10 Gaming X-SCM; (eds) Cardotte,

- E., Corsi, T. M., Verbraeck, A., and Routledge, New York, NY, USA.
- Hatono, I., Kurotani, K., Murakami, K., Fujii, N., and Ueda, K. (2004), A decision support system for designing business strategies, *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2, 1475-1480.
- Huang, S. and Lin, P. (2010), A modified ant colony optimization algorithm for multi-item inventory routing problems with demand uncertainty, *Transportation Research Part E*, 46, 598-611.
- Kelton, W., Sadowski, R. P., and Sturrock, D. T. (2007), *Simulation with Arena*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, USA.
- Kök, A. G. and Fisher, M. L. (2007), Demand estimation and assortment optimization under substitution : methodology and application, *Operations Research*, 55(6), 1001-1021.
- Lei, J. and Li, J. (2009), A Decision support system for supply chain management based on PSO and GIS, IITA International Conference on Control, *Automation and Systems Engineering*, 58-61.
- Miyamoto, Y., Kubo, M., and Murakami, K. (2003), Algorithm for the product assortment problem : An application to vending machine products, *Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics*, 20(1), 87-100.
- Moin, N. H., Salhi, S., and Aziz, N. A. B. (2011), An efficient hybrid genetic algorithm for the multi-product multi-period inventory routing problem, *International Journal of Production Economics*, 133(1), 334-343.
- Palmer, A. (2004), *The environmental implications of grocery home delivery*, Centre for Logistics and Supply chain Management, Cranfield University, ELA Doctorate Workshop.
- Park, Y. B. and Yoon, S. J. (2011), A two-phase solution for the operation problem of vending machine systems with stock-out based, one-stage item substitution, *Proceedings of the 16th Annual International Conference on Industrial Engineering, Stuttgart*, Germany, 363-369.
- Poon, T. C., Choy, K. L., Cheng, C. K., and Lao, S. I. (2010), A real-time replenishment system for vending machine industry, *IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 209-213.
- Qing, Z. and Pu, Y. (2011), Research and application on vending machine data integration based on EPC system, *International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks*, 4304-4306.
- Rusdiansyah, A. and Tsao, D. (2005), An integrated model of the periodic delivery problems for vending machine supply chains, *Journal of Food Engineering*, 70(3), 421-434.
- Sbihi, A. and Eglese, R. W. (2010), Combinatorial optimization and green logistics, *Annals of Operations Research*, 175, 159-175.
- SpeedGeoX 1.0 How to.* (2002), Mando Map & Soft, Korea.
- Srivastava, S. K. (2007), Green supply-chain management : a state-of-the art literature review, *International Journal of Management Reviews*, 9(1), 53-80.
- Statistical Analysis for the Vending Machine Industry in Korea* (2009), www.kova21.or.kr, The Korea Vending Machine Manufacturers Association.
- Wolson, S. (2000), Remote technology gaining acceptance : Smart machines, *Food Service Director*, 13(8), 136.
- Yang, B. H. (2002), A research on the inventory replenishment policy and item allocation method in the mobile vending machine system, *Korean Journal of Logistics*, 10(2), 1-16.
- You, P. (2005), 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.



박양병

Oklahoma State University 산업공학과 박사
 현재 : 경희대학교 산업경영공학과 교수
 관심분야 : Logistics/SCM, SCRM



윤성준

경희대학교 산업공학과 석사
 현재 : 경희대학교 산업경영공학과 박사과정
 관심분야 : SCM, 시뮬레이션