

소매점 공급사슬에서 공급자주도 재고/분배 문제를 위한 발견적 해법

홍성철* · †박양병*

A Heuristic for Vendor-managed Inventory/Distribution Problems in the Retail Supply Chain

Sung-Chul Hong* · †Yang-Byung Park*

■ Abstract ■

As to more efficiently manage the inventory in the retail supply chain and to meet the customer demand in a timely manner, vendor-managed inventory (VMI) has been widely accepted, which manages inventory in the retail supply chain via sharing information and collaborating with the retailers. Applying VMI generates vendor-managed inventory/distribution problem (VMIDP), which involves inventory management for both the vendor and the retailers, and the design of vehicle routes for delivery, to minimize the total operating cost in the supply chain. In this paper, we suggest a mixed integer programming (MIP) model to obtain the optimal solution for VMIDP in a two-echelon retail supply chain, and develop an efficient heuristic based on the operating principles of the MIP model. To evaluate the performance of the heuristic, its solution was compared with the one of the MIP model on a total of twenty seven test problems. As a result, the heuristic found optimal solutions on seven problems in a significantly reduced time, and generated a 4.3% error rate of total cost in average for all problems. The heuristic is applied to the case problem of the local famous franchise company together with GIS, showing that it is capable of providing a solution efficiently in a relatively short time even in the real world situations.

Keywords : Vendor-Managed Inventory, Inventory/Distribution Problems, Retail Supply Chain,
Vehicle Routing Problems, Heuristic

논문접수일 : 2007년 06월 18일 논문게재확정일 : 2007년 11월 01일

* 경희대학교 테크노공학대학 산업공학과

† 교신저자

1. 서 론

1990년대 이후 급속하게 변화하는 소매점의 판매 환경에 대해 기업들은 보다 신속하고 효율적으로 대응하지 않으면 타 기업들과의 무한 경쟁에서 생존하기 힘들어졌다. 이에 따라 기업들에게는 소매점 공급사슬의 재고관리 시스템을 개선해야 할 필요성이 강력하게 대두되었으며[12], 공급사슬 내 공급자와 소매점간의 협력관계를 바탕으로 하는 다양한 형태의 새로운 소매점 재고관리 시스템들이 개발되었다. 그 중에서도 Wal-Mart와 P&G에 의해 처음 개발된 공급자주도 재고관리(vendor-managed inventory : VMI)가 가장 활발히 기업들에게 적용되고 있다[14].

국내에서 VMI 적용은 2000년 이후 증가하고 있다. 대표적인 사례로서, 공급자인 한국 P&G와 COS TCO, Carrefour, 삼성 TESCO 등의 대형 할인 소매점들이 서로 협력 하에 VMI를 실시하고 있으며, 그 결과 소매점들의 재고수준과 품질이 크게 감소된 것으로 알려져 있다. 또한 CJ 푸드시스템, VIPS 등과 같은 외식 프랜차이즈 본사에서도 각 매장의 수요를 예측하여 식자재를 자동으로 보충하는 VMI 시스템을 도입하고 있다.

VMI를 적용하기 위해 소매점은 POS 시스템과 EDI를 이용하여 공급자에게 실시간적으로 판매/재고 정보를 전송해야 하고, 공급자는 이를 바탕으로 각 소매점의 수요를 예측하여 재고보충 시기와 수량을 결정하는 정보시스템을 구축해야 한다. 한국 P&G는 KARS(Key Account Replenishment System), CJ 푸드시스템은 CJ Prism이라는 시스템을 각각 운용 중이다. 현재 국내에서 운용중인 VMI 시스템들의 문제점으로는 크게 두 가지가 지적되고 있다. 첫째, 성능이 뛰어난 수요예측 시스템의 미비로 수요예측이 어렵거나 부정확하여 비정기적으로 빈번하게 별도의 소매점 재고보충을 실시해야 한다. 둘째, 공급자는 수송 효율성을 높이고자 가급적 차급 화물(full truckload : FTL) 수송을 선호하여 소매점에 과다재고가 발생하며, 더불어 판매되지 않은

제품들에 대한 회수가 비용증가 요인으로 발생하고 있다[1].

VMI 운용 시 소매점의 재고보충량을 FTL 이하의 소량으로 유지하면서 수송 효율성을 높이기 위해 한 대의 차량으로 여러 소매점을 경유하는 방안을 고려할 수 있다. 이에 따라 공급자 입장에서는 공급자 및 소매점의 재고관리와 소매점 배송을 위한 차량경로를 계획하는 공급자주도 재고/분배 문제(vendor-managed inventory/distribution problem : VMIDP)가 발생한다. 즉, VMIDP는 공급자가 계획기간 동안 소매점들의 수요예측 자료를 토대로 공급사슬의 총비용을 최소화하는 공급자와 소매점들의 재고보충 시기와 수량, 그리고 기별로 산재해 있는 소매점들에 대한 배송차량 경로를 결정하는 문제이다.

VMIDP의 해법은 Federgruen and Zipkin[8]의 연구로부터 시작되었다. 초기의 VMIDP 해법들은 먼저 소매점들에 대한 재고보충량을 결정하고, 다음에 기별로 차량경로를 결정하는 2단계 접근방법을 사용하였다. Federgruen and Zipkin[8]과 Viswanathan and Mathur[13]는 각 소매점의 재고보충량을 EOQ로 결정한 후, 기별로 차량경로를 결정하는 해법을 개발하였다. 그러나 소매점 재고보충량 결정 시 수송비가 전혀 반영되지 않은 것이 문제점으로 지적되고 있다. Carter et al.[6]은 이러한 문제점을 보완하기 위해 소매점에 대한 추정 수송비를 반영하여 재고보충량을 결정한 후 기별 차량경로를 결정하는 방법을 사용하였다.

이와 같은 2단계 분리적 접근방법은 특성상 비최적해를 구할 가능성이 높다는 인식 하에 Bertazzi et al.[5]과 Rusdiansyah and Tsao[11]는 소매점 재고보충량과 차량경로를 동시에 결정하는 해법을 제안하였다. 그들은 소매점 재고보충 시 항상 정해진 최대 재고수준을 채우도록 보충량을 정함으로써 해의 탐색을 단순화하였다. 이러한 재고정책은 빈번히 필요량 이상의 재고보충을 유발할 수 있다. 최근에 Abdelmaguid and Dessouk[4]는 매트릭스 표현의 유전알고리즘을 이용하여 소매점 재고보충

의 시기와 물량을 결정한 다음에 savings 알고리즘[7]을 적용하여 기별로 차량경로를 결정하는 순차적 해법을 개발하였다. 그들은 수송비 계산에 비선형식을 사용하였다. 홍성철, 박양병[2]은 2단계 소매점 공급사슬에서 소매점주도 재고관리에 대한 VMI의 우위성을 평가하기 소매점 재고보충과 차량경로를 통합적으로 푸는 혼합정수계획 최적해 수리모형을 제시하였다.

지금까지 대부분의 VMIDP 해법들은 소매점 재고보충과 차량경로의 결정을 분리하거나 또는 보충량의 크기를 제한하였는데 이러한 접근방법은 해의 최적성을 크게 저하시킬 수 있다. 또한 최적성을 높이기 위해 수리모형이나 유전알고리즘과 같은 메타 휴리스틱을 적용할 경우 해 탐색의 효율성이 극도로 저하될 수 있다. 특히, 수리모형은 적용할 수 있는 문제의 규모를 극도로 제한한다. 본 논문에서는 홍성철, 박양병[2]이 제안한 VMIDP 혼합정수계획 수리모형의 작동원리를 기반으로 소매점 재고관리와 배송차량 경로결정을 통합적으로 접근하는 효율적인 발견적 해법을 제시한다. 발견적 해법의 성능은 다양한 실험문제에서 수리모형을 이용한 최적 해법과의 비교에 의해 평가된다. 그리고 국내 유명 프랜차이즈 기업의 사례를 통하여 큰 문제에서 GIS와 연동한 발견적 해법의 실제 적용가능성을 확인한다.

본 논문은 총 6장으로 구성된다. 제 1장의 서론에 이어, 제 2장에서 VMIDP를 정의하고 혼합정수계획 최적해 수리모형을 구축한다. 제 3장에서 VMIDP를 위한 발견적 해법을 제시한다. 제 4장에서 다양한 실험문제를 이용하여 발견적 해법의 성능을 평가하고, 제 5장에서 사례 적용을 통해 발견적 해법의 실용성을 확인한다. 끝으로, 결론 및 향후과제를 제 6장에 기술한다.

2. 공급자주도 재고/분배 문제의 최적해 수리모형

VMIDP는 다 기간, 단일 공급자, 다수 소매점, 다

품종으로 구성된 2단계 공급사슬에서 공급자가 계획기간 동안 소매점에서의 알려진(예측된) 고객수요를 모두 충족하기 위해 공급자 주문비와 재고유지비, 소매점 재고유지비와 품질비, 차량고정비와 변동비의 합으로 계산되는 총비용의 최소화를 목적으로 공급자 및 소매점의 재고관리와 배송차량의 경로를 계획하는 문제이다. 문제에서 고객수요는 계획기간 동안에 모두 충족되어야 하므로 공급사슬의 총 판매수입은 고정된 값을 갖게 되어 총비용의 최소화는 총 이익의 최대화와 동일한 의미를 갖는다.

공급자의 재고보충은 기초에 주문과 동시에 이루어지며, 품질은 허용되지 않는다. 소매점은 고객수요의 일정한 비율 범위 내에서 품질을 허용하며, 품질은 반드시 다음 기초에 보충된 물량에 의해 충족된다(backlog). 소매점의 저장 공간크기는 제한된다. 공급자를 출발한 차량은 반드시 해당 소매점 개점시간 전까지 모든 배송을 완료하여야 한다. 차량의 적재용량은 제한되며, 차량형태와 품목별 크기와 무게는 모두 동일하다. 그리고 한 기에 한 소매점에 대해 분할배송은 불허한다.

VMIDP의 혼합정수계획 최적해 수리모형은 홍성철, 박양병[2]에 부분적으로 소개되어 있으나, 독자들의 이해를 돕기 위해 완전한 수리모형을 만들어 아래에 정리한다.

- 입력 파라미터

R = 소매점 수,

K = 품목 수,

T = 계획기간,

N = 최대 차량 수,

C = 차량용량,

S_i = 소매점 i 의 재고 공간 크기,

D_{ikt} = 소매점 i 에서 t 기에 제품 k 의 고객수요,

C_{ik} = 공급자($i=0$)와 소매점 i 에서 제품 k 의 단위 재고유지비,

p = 공급자 1회 주문비(주문처리비),

g_{ik} = 소매점 i 에서 제품 k 의 단위 품질비,

f = 차량고정비(감가상각비, 인건비, 배송준비비 등),
 v = 차량변동비(연료비),
 α_{ik} = 소매점 i 에서 제품 k 의 품질 허용율,
 L = 차량운행시간 상한,
 t_{ij} = 지점 i 에서 j 까지 이동시간,
 m_i = 소매점 i 의 하역시간,
 M = 아주 큰 수.

• 결정변수

a_{kt} = 공급자에서 t 기에 제품 k 의 재고보충량,
 I_{ikt} = 공급자($i=0$)와 소매점 i 에서 t 기말 제품 k
 의 재고수준,
 b_{ikt} = t 기에 소매점 i 에서 제품 k 의 품질량,
 z_{ikt} = t 기에 소매점 i 에서 제품 k 의 보충량,
 w_{it} = t 기에 소매점 i 에서 차량 적재량,
 l_{it} = t 기에 소매점 i 에 차량 도착시간,

$$x_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{만약 } t\text{기에 지점 } i\text{에서 } j\text{로 차량이} \\ & \text{이동하면} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

$$y_{it} = \begin{cases} 1, & \text{만약 } t\text{기에 지점 } i\text{에서 보충(수송)량이} \\ & \text{있으면} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & p \sum_{t=1}^T y_{0t} + \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T c_{0k} I_{0kt} \\ & + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T c_{ik} (I_{ikt-1} + z_{ikt} - b_{ikt-1} + I_{ikt}) \\ & + \sum_{i=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T g_{ik} b_{ikt} + f \sum_{i=1}^R \sum_{t=1}^T x_{0it} \\ & + v \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^{R+N} \sum_{t=1}^T t_{ij} x_{ijt} \end{aligned} \quad (1)$$

s. t.

$$I_{ikt-1} + z_{ikt} - D_{ikt} - b_{ikt-1} + b_{ikt} = I_{ikt}, \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, R; k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{k=1}^K (z_{ikt} - b_{ikt-1}) + \sum_{k=1}^K I_{ikt-1} \leq S_i, \quad (3)$$

$$i = 1, \dots, R; t = 1, \dots, T$$

$$b_{ikt} \leq \alpha_{ik} D_{ikt}, \quad (4)$$

$$i = 1, \dots, R; k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T-1$$

$$I_{0kt-1} + a_{kt} - \sum_{i=1}^R z_{ikt} = I_{0kt}, \quad (5)$$

$$k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{k=1}^K a_{kt} \leq M y_{0t}, \quad t = 1, \dots, T \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K z_{ikt} \leq M y_{it}, \quad k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T \quad (7)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^R x_{ijt} = y_{it} \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^R x_{ijt} = y_{jt}, \quad (8)$$

$$j = 1, \dots, R; t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{R+N} x_{ijt} = y_{it}, \quad i = 1, \dots, R; t = 1, \dots, T \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^{R+N} x_{0jt} = N, \quad t = 1, \dots, T \quad (10)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^R x_{ijt} = 1, \quad j = R+1, \dots, R+N; t = 1, \dots, T \quad (11)$$

$$l_{jt} - l_{it} - M x_{ijk} \geq t_{ij} + m_i - M, \quad (12)$$

$$i = 0, \dots, R; j = 1, \dots, R+N; i \neq j; t = 1, \dots, T$$

$$l_{it} \leq L, \quad j = 1, \dots, R+N; t = 1, \dots, T \quad (13)$$

$$w_{it} - w_{jt} + M x_{ijt} \leq \sum_{k=1}^K z_{ikt} + M, \quad (14)$$

$$i = 0, \dots, R; j = 1, \dots, R+N; i \neq j; t = 1, \dots, T$$

$$w_{0t} \leq C \quad (15)$$

$$I_{0k0} = 0, I_{0kT} = 0, \quad k = 1, \dots, K \quad (16)$$

$$I_{ik0} = 0, I_{ikT} = 0, b_{ik0} = 0, b_{ikT} = 0, \quad (17)$$

$$i = 1, \dots, R; k = 1, \dots, K$$

$$x_{ijt} \in \{0, 1\}, y_{it} \in \{0, 1\}, I_{ikt} \geq 9, \quad (18)$$

$$b_{ikt} \geq 0, z_{ikt} \geq 0, a_{kt} \geq 0,$$

$$i = 0, \dots, R; j = 1, \dots, R+N;$$

$$k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T$$

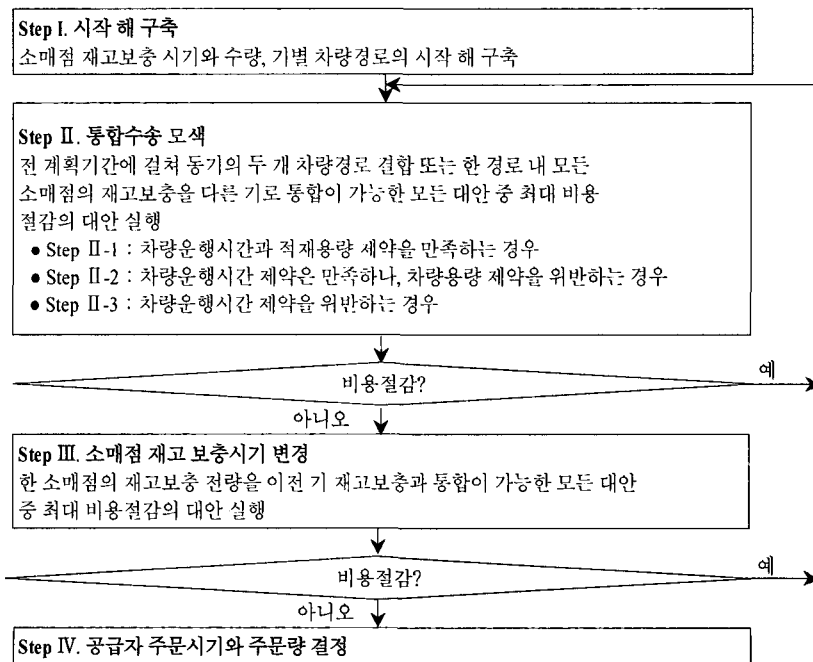
식 (1)은 목적함수로서, 계획기간 동안의 공급자 주문비, 공급자 재고유지비, 소매점 재고유지비, 소매점 품질비, 차량고정비, 차량변동비의 합으로 정의된다. 식 (2)는 기간별 소매점 재고수준을 산정한다. 식 (3)은 소매점 재고 공간 크기를 제한한다. 식 (4)는 소매점 품질량을 제한한다. 식 (5)는 기간별 공급자 재고수준을 산정한다. 식 (6)은 공급자

재고보충(주문)이 존재하는 경우에 y_{or} 값을 1로 정해 공급자의 주문비를 발생시킨다. 식 (7)은 소매점 재고보충이 존재하는 경우에 y_{ir} 값을 1로 정해 식 (8)과 식 (9)에서 해당 소매점을 차량경로에 포함하게 한다. $R+1, \dots, R+N$ 은 최대 N 대의 차량이 각각 배송을 마친 후 최종적으로 되돌아오는 N 개의 가상지점을 의미하며, 모두 공급자 지점과 동일한 위치이다. 매기 차량경로 결정을 위해 Malandraki[10]의 수리모형 제약식의 변수들에 대해 시간 인자를 추가한 식들을 사용하였다. 이에 따라 식 (10)은 최대 N 대의 차량이 공급자 지점을 출발하게 하고, 식 (11)은 최대 N 대의 차량이 소매점 재고보충을 마친 후 각각 $R+1, \dots, R+N$ 의 가상지점으로 귀환하게 한다. 식 (12)는 지점 i 를 출발한 차량의 지점 j 도착시각을 계산한다. 식 (13)은 지점 j 에 차량이 개점시간(즉, L) 이전에 도착하도록 제한한다. 식 (14)는 지점 i 를 출발하여 지점 j 에 도착한 차량의 적재량을 산정한다. 식 (15)는 차량의 적재용량을 제한한다.

3. 공급자주도 재고/분배 문제의 발견적 해법

제 2장의 혼합정수계획 수리모형을 이용하여 VMDDP의 최적해를 구할 수는 있으나, 문제의 규모가 커지면 컴퓨터 메모리 소요와 계산시간이 급격히 늘어나 풀기가 거의 불가능해진다. 따라서 현실적 규모의 문제들을 효율적으로 해결하기 위해서는 발견적 해법의 사용이 필요하다.

수리모형의 작동을 분석해 보면, 소매점 재고보충이 차량고정비, 재고유지비, 품질비에 직접적으로 영향을 미치지 때문에 소매점 재고보충 시기와 수량의 결정을 우선적으로 모색한다. 그런 다음에 기별 재고보충량이 0보다 큰 소매점들에 대해 최적의 차량경로를 모색한다. 따라서 VMDDP의 여러 결정 변수들 중 소매점 재고보충량의 결정이 가장 중심이 되고 있다. 발견적 해법은 이러한 수리모형의 작동원리를 바탕으로 소매점 재고보충량 결정에 공급자 및 소매점 재고유지비, 차량고정비, 변동비, 품



<그림 1> 발견적 해법의 절차

절비들의 증감을 동시에 고려함으로써 VM DP의 주요 비용들 간의 효과적인 trade-off를 이루며 해를 탐색하는 과정으로 고안되었다.

발견적 해법은 먼저 소매점 재고유지비와 품질비가 최소가 되는 소매점 재고보충 시기와 수량으로 시작 해를 구축하고 이를 토대로 기별 차량경로를 구성한다. 이후, 공급자 주문비를 제외한 총비용을 감축하는 관점에서 소매점 재고보충 시기와 수량을 조정하면서 차량경로 및 소매점 재고보충을 통합하는 과정을 진행한다. 다음으로, 소매점 재고보충계획이 실현될 수 있도록 공급자의 주문 시기와 주문량을 결정하는 과정을 진행한다.

발견적 해법은 <그림 1>과 같이 시작 해 구축, 통합수송 모색, 소매점 재고 보충시기 변경, 공급자 주문시기와 주문량 결정의 총 4단계 과정으로 구성된다. Step II에서 통합수송에 의해 해가 개선된 경우는 개선된 해에 대해 Step II를 반복하고, 해가 개선되지 않은 경우는 Step III으로 진행한다. Step III에서 소매점 재고 보충시기 변경에 의해 해가 개선된 경우는 다시 Step II를 적용하고, 해가 개선되지 않은 경우는 Step IV로 진행한다. 각 단계별 내용을 아래에 순서대로 설명한다.

3.1 Step I : 시작 해 구축

기간별 각 소매점의 고객수요를 한 대씩의 차량으로 보충하도록 시작 해를 구축한다. 따라서 기간별 최대 차량 수는 소매점 수와 같다. 이에 따라 시작 해의 소매점 재고유지비는 최소가 되지만 차량 고정비와 변동비는 최대가 되므로, 다음의 Step II와 III에서 통합수송과 소매점 재고 보충시기 변경에 의한 관련비용들의 적절한 trade-off를 통해 총비용의 감축을 시도한다.

3.2 Step II : 통합수송 모색

차량경로의 결합과 소매점 재고보충 시기의 이전에 의한 보충량 통합을 통해 해의 개선을 피하는

단계이다. 전 계획기간에 걸쳐 차량과 소매점 저장 공간의 제약조건에 비추어 동일한 기에 두 개의 차량경로의 결합 또는 한 경로의 모든 소매점 재고보충을 다른 기로 이전에 의해 통합이 가능한 모든 대안을 찾는다. 이 중에서 통합수송에 따른 최대 비용 절감액의 대안을 선정 실행하는 과정을 더 이상의 비용절감 대안이 찾아지지 않을 때까지 반복한다. 두 개 경로의 결합에 따른 차량 변동비 절감액은 Clark and Wright의 savings 기법[7]을 사용하여 계산된다. 선정된 대안의 실행과정에서 통합수송에 따라 영향을 받는 모든 소매점의 재고보충량과 품질량, 그리고 차량대수와 경로를 수정한다.

통합수송과 관련하여 세 가지 경우가 존재한다. 첫째, 경로결합이 차량운행시간과 차량용량 제약을 모두 만족하는 경우(Step II-1). 둘째, 경로결합이 차량운행시간 제약은 만족하지만 차량용량 제약을 위반하는 경우(Step II-2). 셋째, 경로결합이 차량운행시간 제약을 위반하는 경우(Step II-3).

Step II-1에서는 두 경로 내 소매점 재고보충량의 조정 없이 그대로 결합이 가능하며, 비용절감액은 차량 고정비와 변동비 절감액의 합으로 계산된다. Step II-2에서는 두 경로의 총 배송량에서 차량용량의 초과분만큼을 직전 또는 직후 기의 해당 소매점들의 보충량에 통합한 다음 경로결합을 실시한다. 비용절감액은 차량 고정비와 변동비 절감액, 소매점 재고유지비 또는 품질비 증가액, 공급자 재고유지비 증가액으로써 계산된다. Step II-3에서는 해당 기에 두 경로의 통합이 불가능하므로 임의의 한 경로 내 모든 소매점의 재고보충량을 직전 또는 직후 기의 해당 소매점들의 보충량에 통합한다. 비용절감액은 차량 고정비와 변동비 절감액, 소매점 재고유지비 또는 품질비 증가액, 공급자 재고유지비 증가액으로써 계산된다. Step II-2와 II-3에서 재고보충을 이전할 기는 이전될 기에 해당 소매점의 재고보충이 존재하는 기로 제한하며, 보충량의 분할 이전이 가능하다.

소매점에서 단위 품질비가 단위 재고유지비보다 크므로, Step II-2와 Step II-3의 소매점 재고보충

량 조정에서는 직전 기로의 이전을 우선적으로 고려하고 더 이상 직전 기로 이전이 가능하지 않을 때 잔여량을 직후 기로 이전하여 품질을 발생시킨다. 이때 소매점 품질량은 품질허용량(즉, 품질허용율×수요량)에 제한된다. Step II에서 차량용량 초과분의 이전은 이전받을 소매점의 저장 공간 여유를 고려하여 이전 가능한 소매점들에 대해 가능한 범위 내에서 균등하게 시행한다. Step II의 전체 모의 프로그램을 부록의 <그림 5>에 별도로 포함한다.

<그림 2>는 Step II에서 세 가지 경우의 통합수송 예를 보여준다. 모든 예에서 차량용량은 60, 소매점 재고 공간크기는 40으로 설정한다. 각 매트릭스에서 i 는 소매점, t 는 기를 나타낸다. 그림의 셀 내 수치는 해당 기에 소매점 재고보충량을 나타내고, 점선 사각형은 한 대의 차량으로 배송되는 재고보충량이다.

<그림 2>(a)는 품질 없는 배송계획이다. <그림 2>(b)는 1기에 각각 소매점 1과 2, 소매점 3으로 구성된 두 개의 경로가 Step II-1의 경우에 해당되어 간단히 결합이 이루어진 결과를 보여준다. 2기에 두 경로의 결합은 차량용량을 초과하는 Step II-2의 경우에 해당되어, <그림 3>(c)에서와 같이 2기의 차량용량 초과분 5를 우선적으로 1기로 균등 이전하고 두 경로를 결합할 수 있다. 만약 2기에 두 경로의 결합이 차량운행시간을 초과하는 Step II-3의 경우에 해당된다면, <그림 3>(d)에서와 같이 2기에서 임의로 선택한 두 번째 경로 내 소매점 3의 보충량 22개 중 우선적으로 1기로 소매점 3의

저장 공간 여유분인 21개를 이전 통합하고 나머지 1개는 3기로 이전 통합한다. 이에 따라 2기에 소매점 3의 재고보충은 완전히 삭제되면서 1개의 품질이 발생한다.

3.3 Step III : 소매점 재고 보충시기 변경

한 소매점의 재고보충 전량을 전기의 소매점 재고보충과 통합하여 차량비와 소매점 품질비의 절감에 의한 해의 개선을 꾀하는 단계이다. 재고 보충시기 변경은 대상 소매점의 현재 기의 직전 기부터 시작하여 역으로 1기까지 차량용량 및 소매점 저장 공간크기 관점에서 전기로 소매점 재고보충 이전이 가능한 모든 대안을 찾아, 이 중에서 최대 비용절감의 대안을 선정 실행한다. 재고보충을 이전할 기는 이전될 기에 해당 소매점의 재고보충이 존재하는 기로 제한한다. 이와 같은 소매점 재고 보충시기 변경작업은 최종 기부터 시작하여 역으로 2기까지 모든 소매점을 대상으로 반복 시도한다.

비용 절감액은 차량 고정비와 변동비 증감, 소매점 재고유지비 증가와 품질비 감소, 공급자 재고유지비 감소로써 계산된다. 재고보충을 전기로 이전함에 따라 원래의 경로에서 해당 소매점을 제거하고, 소매점 재고보충량과 재고수준을 갱신한다.

3.4 Step IV : 공급자 주문시기와 주문량 결정

이전 단계에서 소매점 재고보충 시기와 수량, 그리고 기별 차량경로가 모두 결정되면, 계획기간 동안공급자 주문비와 재고유지비의 합이 최소가 되

$i \backslash t$	1	2	3
1	18	21	20
2	9	22	19
3	19	22	20

(a) 배송계획

$i \backslash t$	1	2	3
1	18	21	20
2	9	22	19
3	19	22	20

(b) Step II-1의 통합수송

$i \backslash t$	1	2	3
1	18+2	19	20
2	9+2	20	19
3	19+1	21	20

(c) Step II-2의 통합수송

$i \backslash t$	1	2	3
1	18	21	20
2	9	22	19
3	19+21	-	20+1

(d) Step II-3의 통합수송

<그림 2> Step II에서 세 가지 경우의 통합수송 예

도록 공급자의 재고보충을 위한 주문량과 주문시기를 결정하는 단계이다. 먼저, 제품별로 계획기간 동안 모든 소매점에서의 총 고객수요로써 구한 EOQ 값을 1회 주문량으로 임시 정한다. 그리고 여러 품목들을 모두 함께 동시에 주문하면 주문비용이 절감된다는 단순한 가정 하에 제품별 주문주기 중 최대치를 공통의 단일 주문주기로 정한다. 마지막으로, 제품별로 다음 주문이 발생할 때까지 한 주기 동안 계획된 소매점 재고보충을 품질 없이 전량 이행할 수 있는 크기로 주문량을 최종 결정한다.

4. 발견적 해법의 성능 평가

VMIDP를 위해 개발한 발견적 해법의 성능을 평가하기 위해 9개 소매점, 2개 품목, 10기 계획기간으로 이루어진 기본 문제를 구축하였다. 문제에서 공급자 위치는 (50, 50)으로 정하고, 소매점 위치는 [0, 100]의 일양분포를 이용하여 정하였다. 지점 간 이동시간은 직선거리에 비례하는 것으로 가정하였다. 모든 소매점에서 제품 1과 2의 고객수요는 각각 [18, 32]와 [11, 19]의 일양분포로부터 생성하였으며, 공급자와 모든 소매점의 초기재고는 0으로 설정하였다. 매기 소매점 개점시간은 모두 180으로 설정하였다. 소매점과 제품의 구분 없이 소매점의 품질허용율과 단위 품질비는 각각 0.3과 5, 공급자의 주문비는 400, 공급자의 단위 재고유지비는 1, 차량변동비는 5로 설정하였다.

발견적 해법의 성능 평가를 위해 <표 1>에서와 같이 소매점 단위 재고유지비(c_{ik}), 차량용량(C), 소매점 재고 공간크기 결정배수(w)에 대해 각각 세 가지 수준 값을 설정하고 이들을 조합하여 기본 문제를 기반으로 총 27개의 실험문제를 구성하였다. 모든 문제에 최적 해법을 적용하여 구한 총비용 값에 대해 분산분석을 수행한 결과, 세 요인들은 C , w , c_{ik} 순으로 수준 값의 차이가 95% 수준으로써 VMIDP의 총비용에 유의하게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 공급자 주문비는 공급자의 품질불허에 기인하여 다른 비용요소들에 비해 총비용 변화에 유의

적으로 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 세 가지 차량용량 크기에 따라 해당 차량고정비는 각각 100, 146, 191로 설정하였다. 이것은 차량용량에 대한 실제 차량가격, 인건비, 배송준비비를 조사하여 유도된 회귀식을 근거로 구한 값이다. 소매점 저장 공간크기는 전체 계획기간 동안 해당 소매점의 제품별 최대 기별 고객수요의 합에 w 를 곱해 정해진다.

<표 1> VMIDP의 세 가지 요인과 수준 값

요인	수준	값
c_{ik}	3	1.0, 1.5, 2.0
C	3	100, 200, 300
w	3	1, 2, 3

발견적 해법의 평가를 위해 최적 해법 수리모형을 CPLEX 9.1[9]을 이용하여 풀었다. 그런데 최적 해법은 아주 작은 크기의 문제를 제외한 대부분의 문제에서 수일이 소요되어도 컴퓨터 용량의 제한으로 인해 최적해를 구할 수 없었다. 이에 따라 최적해 대신 CPLEX가 95% 이상의 최적성을 보장하는 해를 구해 발견적 해법의 해와 비교하였다. 27개의 실험문제에 대해 발견적 해법을 적용하여 구한 해의 각종 비용과 계산시간이 최적 해법을 통해 구해진 총비용 및 CPLEX 계산 자료와 함께 <표 2>에 정리되어 있다. 모든 계산은 Pentium IV PC (CPU 2.6GHz, 512MB RAM)에서 수행되었다. 최적 해법에 의한 총비용의 세부 비용은 홍성철과 박양병[2]에 정리되어 있다.

<표 2>의 발견적 해법의 결과를 살펴보면, 차량 고정비와 변동비는 차량용량과 소매점 저장 공간이 커질수록 통합수송을 통한 공급자의 대량수송이 가능해져 모두 감소하였다. 품질은 통합수송을 모색하는 과정에서 소매점 재고보충을 전기로 이전 불가능한 경우에만 불가피하게 발생되므로 모든 실험문제에서 품질비는 매우 작게 나타났다. 또한 소매점의 단위 재고유지비가 커질수록 공급자의 소매점 재고보충이 지연되어 재고보충량이 감

소되고 그 결과 공급자 재고유지비가 증가하였다. 모든 문제에서 공급자 주문비는 동일하게 나타났다. 이러한 발견적 해법의 결과는 모든 실험문제에서 제품별 총 고객수요, 공급자 1회 주문비, 공급자 단위 재고유지비가 동일하므로 공급자 주문주기(즉, 공급자 주문횟수)가 항상 같게 되기 때문이다. 최적

해법의 경우, 공급자 주문비는 2000 또는 2400으로 문제에 따라 다르게 구해졌다([2] 참조). 종합적으로, 소매점 단위 재고유지비가 작고, 차량용량과 소매점 저장 공간이 큰 실험문제에서 VMI에 의한 공급사슬 운영비용이 더 작게 나타났다. 이러한 여러 실험결과에 근거하여, 발견적 해법이 비용요소

<표 2> 27개 실험문제에서 발견적 해법과 최적 해법의 적용결과

Cik	요 인			발견적 해법							최적 해법				
	C	w	공급자		소매점		차량			총비용	계산 시간 (초)	총비용	lower bound ¹⁾	gap ²⁾ (%)	계산 시간 (초)
			주문비	재고 유지비	재고 유지비	품질비	고정비	변동비							
1.0	100	1	2000	1837	1926	190	4400	23075	33428	7	33428	32331	3.3	3039	
		2	2000	1181	3875	0	4200	20875	32131	6	30265	28826	4.8	3032	
		3	2000	1135	4111	95	4000	20005	31346	7	29785	28358	4.8	2058	
	200	1	2000	1800	1810	0	4380	16650	26640	5	26640	26640	0.0	383	
		2	2000	1634	2850	15	3066	12235	21800	6	20701	19720	4.7	2712	
		3	2000	1621	2834	10	3066	12235	21766	6	20026	19055	4.8	7395	
	300	1	2000	1800	1810	0	5730	16650	27990	6	27990	27990	0.0	1449	
		2	2000	1212	3850	40	3438	9815	20355	5	18398	17619	4.2	8636	
		3	2000	1174	3872	40	3247	9335	19668	6	18056	17212	4.7	4392	
1.5	100	1	2000	1837	3082	190	4400	23075	34584	7	33838	32397	4.3	8496	
		2	2000	1624	5069	0	4000	20655	33348	8	32629	30999	5.0	5022	
		3	2000	1524	5270	15	4000	20555	33364	8	31718	30165	4.9	5033	
	200	1	2000	1800	2896	0	4380	16650	27726	5	27726	27726	0.0	1203	
		2	2000	1668	4562	15	3066	12215	23526	8	22692	21725	4.3	3249	
		3	2000	1655	4538	10	3066	12215	23484	8	22649	21523	5.0	6002	
	300	1	2000	1800	2896	0	5730	16650	29076	6	29076	29074	0.0	785	
		2	2000	1523	5042	40	3820	11065	23490	7	21751	20672	5.0	1916	
		3	2000	1141	6245	40	3247	9305	21978	6	20577	19791	3.8	1911	
2.0	100	1	2000	1837	3852	190	4400	23075	35354	8	35251	34181	3.0	3184	
		2	2000	1662	5619	15	4100	21225	34621	10	32818	31170	5.0	1914	
		3	2000	1681	6486	0	3900	20405	34472	9	32396	30836	4.8	7141	
	200	1	2000	1800	3620	0	4380	16650	28450	5	28450	28450	0.0	2103	
		2	2000	1648	5867	15	3066	12250	24846	9	23827	22648	4.9	2257	
		3	2000	1633	5672	10	3066	12265	24646	8	23827	22656	4.9	7413	
	300	1	2000	1800	3620	0	5730	16650	29800	5	29800	29800	0.0	1259	
		2	2000	1490	6568	0	3629	10815	24502	8	22450	21844	2.7	2322	
		3	2000	1190	8086	30	3247	9260	23813	8	21766	20704	4.9	3767	

주) ¹⁾ CPLEX에서 제공된 best node의 lower bound.

²⁾ 최적 해법에 의해 구해진 해에 대해 CPLEX가 보증하는 relative optimality tolerance[9].

들 간의 적절한 trade-off를 통하여 개선된 해를 효과적으로 탐색한다고 말할 수 있다.

27개 실험문제에서 최적 해법에 대한 발견적 해법의 총비용 오차율을 계산한 결과가 <표 3>에 정리되어 있다. 발견적 해법은 전체 27개의 문제 중 7개의 문제에서 최적 해법과 동일한 해를 구하였으며, 전체적으로 평균 4.3%의 오차율을 나타냈다.

<표 3> 27개 실험문제에서 최적 해법에 대한 발견적 해법의 오차율

C_{ik}	w	C			평균
		100	200	300	
1	1	0.0 ¹⁾	0.0	0.0	5.0
	2	6.2	5.3	10.6	
	3	5.2	8.7	8.9	
1.5	1	2.2	0.0	0.0	3.5
	2	2.2	3.7	8.0	
	3	5.2	3.7	6.8	
2	1	0.3	0.0	0.0	4.3
	2	5.5	4.3	9.1	
	3	6.4	3.4	9.4	
평균		3.7	3.2	5.9	4.3

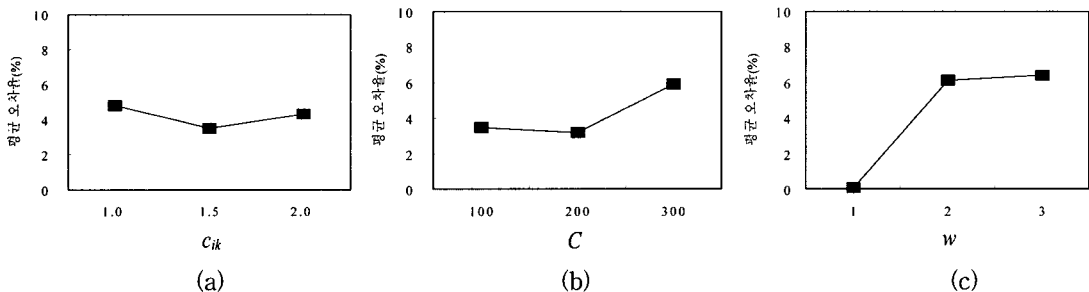
주) ¹⁾ 오차율(%) = ((발견적 해법의 총비용 - 최적 해법의 총비용)/최적 해법의 총비용)×100.

VMIDP의 총비용에 영향을 미치는 세 가지 주요 요인들의 수준 값 변화에 따른 발견적 해법의 오차율 변화를 분석하였다. <그림 3>에서 (a)는 소매점 단위 재고유지비(C_{ik}) 변화에 따른 평균 오

차율의 변화, (b)는 차량용량(C) 변화에 따른 평균 오차율의 변화, (c)는 소매점 저장 공간크기 결정 배수(w) 변화에 따른 평균 오차율의 변화를 보여주는 그래프이다.

발견적 해법의 해 품질은 소매점의 단위 재고유지비 변화에 따라 특별한 영향을 받지 않으나, 차량용량과 소매점 저장 공간크기 결정배수의 크기가 커지면 저하되는 경향을 보였다. 이러한 현상은 문제에서 해 공간이 커지면 발견적 해법의 해 탐색 능력이 함께 저하되는 것으로 이해할 수 있다. 즉, 문제에서 차량용량과 소매점 저장 공간이 어느 수준 이상으로 커지면 발견적 해법은 과도하게 통합 수송을 모색함으로써 VM이 추구하는 소량의 빈번한 소매점 재고보충 기회를 간과할 가능성이 커진다. 이러한 현상에 비추어 발견적 해법의 해 품질을 일정 수준 내에서 유지해 주는 차량용량 및 소매점 저장 공간크기의 제한된 범위가 존재한다고 예상할 수 있다.

계산시간의 관점에서 두 해법을 비교해 보면, <표 2>에 나타나 있는 바와 같이 발견적 해법은 평균 7초가 소요되어 최적 해법의 평균 3632초와 비교하여 극히 짧은 시간 내에 해를 구하였다. 모든 문제에서 CPLEX 실행 시 최적 해법은 발견적 해법의 계산시간 동안에 최초 해조차 탐색하지 못하였다. <표 4>는 제 4장의 기본문제에서 소매점 수가 9개부터 17개까지 1개씩 증가할 때 최적 해법의 CPLEX 계산시간 변화를 보여준다. 기본문제에서 세 가지 요인 C_{ik} , C , w 는 각각 중간 값인 1.5, 200, 2로 설



<그림 3> 세 가지 요인의 수준 값 변화에 따른 발견적 해법의 평균 오차율 변화

정하였다. <표 4>에서와 같이, 총 9개의 모든 문제에서 최적 해법이 최초 해를 구한 시간은 발견적 해법의 계산시간 보다 더 길게 소요되었으며, 문제 크기가 커짐에 따라 그 차이가 급격히 증가하였다. 또한 문제크기가 커짐에 따라 최적 해법이 발견적 해법 보다 더 우수한 해를 최초로 구한 시간이 급격히 증가하였으며, 소매점이 17개일 경우는 10시간이 경과하도록 최초 해조차 구하지 못하였다. 이러한 사실은 실제 VMIDP에 대해 최적 해법의 적용상 한계를 보여주며 발견적 해법의 개발 목적과 가치를 보다 명확히 알려 준다.

5. 발견적 해법의 사례 적용

VMI의 도입을 추진 중에 있는 국내 유명 V 외 식 프랜차이즈 기업의 재고/분배 문제를 발견적 해법의 적용사례로 선정하여 수도권 지역에 산재해 있는 39개 매장과 이들에게 식자재를 공급하는 한 공급업체로써 공급사슬을 구성하였다. 공급사슬 내 구성체들의 지리학적 위치를 시각적으로 나타내는 전자지도의 구축과 지점 간 이동거리 측정은 만도 맵엔소프트사의 SpeedGeoX 1.0[3]이 제공하는 GIS를 이용하였다. 전자지도와 발견적 해법의 차량경로 해의 인터페이스는 Visual Basic 6.0 프로그램으로 구현하였다.

계획기간은 10기로 설정하였으며, 계획기간 동

안 각 매장의 기별 식자재 수요는 과거 자료를 토대로[18, 32]의 일양분포를 따르는 것으로 단순화하였다. 모든 차량의 이동속도는 평균 시속 50km로 설정하였다. 매기 매장 개점시간 전까지 식자재 공급을 완료해야 하는 상황을 고려하여 차량의 마지막 방문 매장 도착시간은 240분으로 제한하였으며, 매장에서 식자재 하역시간은 물량에 관계없이 항상 10분이 소요되는 것으로 설정하였다. 매장 배송은 같은 크기의 트럭을 사용하므로 차량 적재용량은 식자재 크기를 고려하여 모두 동일하게 200으로 정하였다. 모든 매장의 식자재 품질은 해당 기 수요의 30% 내에서 허용되는 것으로 설정하였다. 각 매장의 저장 공간크기는 기별 수요 최대치의 2배로 정하였다. 각종 비용은 비례적으로 산정하여 공급업체의 주문비는 800, 공급업체의 단위 재고유지비는 1, 모든 매장의 단위 재고유지비와 품질비는 각각 1.5와 5, 차량 고정비와 변동비는 각각 146과 5로 정했다.

발견적 해법의 실행 후에는 <그림 4>와 같은 윈도우 화면에 공급업체와 매장의 재고관리 해는 텍스트 형식의 보고서로, 그리고 기별 차량경로 해는 텍스트와 그래픽 형식으로 함께 제공된다. <그림 4>는 예로서 2기의 차량경로를 전자지도 상에 보여 준다.

사례문제에 발견적 해법을 적용하여 구한 해의 각종 비용과 계산시간이 <표 5>에 정리되어 있다.

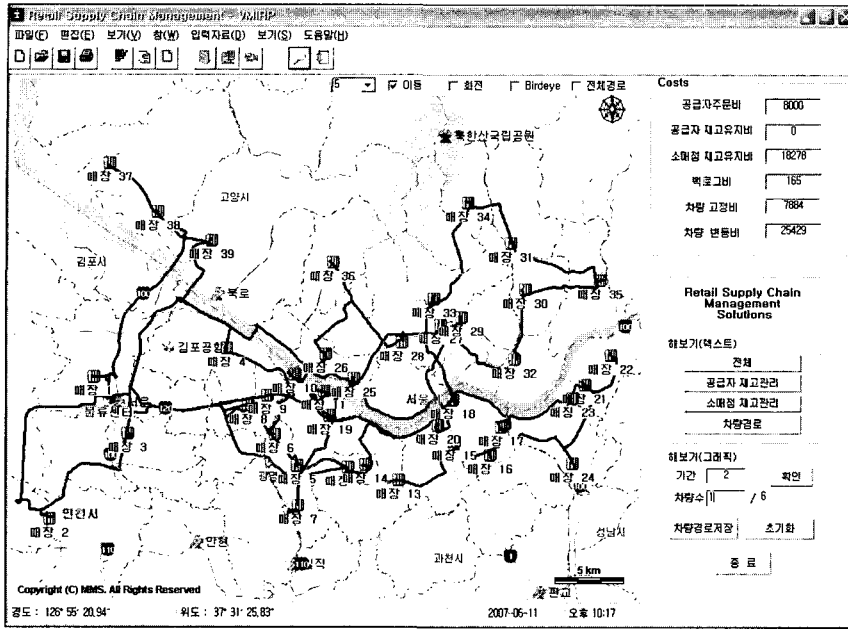
<표 4> 문제크기 변화에 따른 최적 해법과 발견적 해법의 계산시간 비교

문제크기 ¹⁾	9*2*10	10*2*10	11*2*10	12*2*10	13*2*10	14*2*10	15*2*10	16*2*10	17*2*10	
총비용 ²⁾	29448	34212	35421	37845	38963	45439	45936	48504	-	
최적 해법	계산시간(초)	9	39	235	185	221	250	971	5896	37559
총비용 ³⁾	23489	27284	29073	32063	34489	36105	40340	43359	-	
발견적 해법	계산시간(초)	205	87	324	674	336	391	3073	9940	-
총비용	23526	27318	29208	32117	34674	36684	40712	43367	44478	
계산시간(초)	8	10	13	16	19	25	28	35	43	

주) ¹⁾ 소매점수 * 품목수 * 기간수.

²⁾ CPLEX 실행 시 최초 해.

³⁾ CPLEX 실행 시 최초로 구한 발견적 해법 보다 우수한 해.



〈그림 4〉 사례문제에서 발견적 해법의 적용으로 구해진 2기의 차량경로 해

〈표 5〉 사례문제에 발견적 해법의 적용결과

공급업체		매장		차량		총비용	계산시간 (초)
주문비	재고 유지비	재고 유지비	품질비	고정비	변동비		
8000	0	18278	165	7884	25429	59756	740

긴 계획기간과 많은 수의 매장에 기인하여, 계산은 약 740초로 상당히 긴 시간이 소요되었다. 수리모형 최적 해법으로는 계산시간 측면에서 현실적으로 해를 구하는 것이 거의 불가능하기 때문에 발견적 해법의 해에 대한 최적성 평가는 할 수 없었다. 그러나 사례의 적용을 통해 발견적 해법이 현실적인 크기의 문제에 대해서도 비교적 짧은 시간 내에 효율적으로 해를 구하는 사실을 확인할 수 있었다.

6. 결론 및 향후 연구과제

2단계 소매점 공급사슬에서 공급자주도 재고/분배 문제(VMMDP)는 공급자가 계획기간 동안 소매점의 고객수요 예측자료를 토대로 공급사슬의 총비용을 최소화하는 공급자와 소매점들의 재고보충

시기와 수량, 그리고 기간별로 지리적으로 산재해 있는 소매점들에 대한 배송차량들의 경로를 결정하는 문제이다. 본 논문에서는 VMMDP의 혼합정수계획 수리모형을 구축하고, 이의 작동원리를 기반으로 공급사슬의 재고관리와 배송차량의 경로결정을 통합적으로 접근하는 효과적인 발견적 해법을 개발하였다.

여러 실험문제에 대한 계산실험을 통해 발견적 해법은 비용요소들 간의 적절한 trade-off를 통하여 개선된 해를 효과적으로 탐색하는 것을 확인하였다. 발견적 해법은 수리모형 최적 해법과 비교하여 총 27개 실험문제 중 7개 문제에서 최적해를 구하였으며, 전체적으로 평균 4.3%의 총비용 오차율을 나타냈다. 또한 실험문제에서 발견적 해법의 계산시간은 평균 7초가 소요되어 최적 해법의 평균

3632초에 비교하여 크게 단축되었다. 일반적으로, 소매점 단위 재고유지비가 작고, 차량용량과 소매점 저장 공간이 큰 실험문제에서 VMI에 의한 공급사슬 운영비용의 절감 효과가 더 크게 나타났다.

VMIDP의 총비용에 유의적으로 영향을 미치는 소매점 단위 재고유지비, 차량용량, 소매점 저장 공간크기 결정배수 요인들의 수준 값 변화에 따른 발견적 해법의 오차율 변화를 분석한 결과, 특히 발견적 해법은 차량용량과 소매점 저장 공간이 작아 통합수송에 의해 소량의 빈번한 소매점 재고보충을 용이하게 탐색할 수 있는 공급사슬 구조에서 해 품질을 매우 높게 유지하였다. 발견적 해법을 GIS와 연동하여 국내의 사례문제에 적용해 봄으로써 발견적 해법이 현실적인 크기의 문제에 대해서도 비교적 짧은 시간 내에 성공적으로 해를 구하는 사실을 확인하였다.

향후, 지속적인 연구를 통해 규모가 큰 VMIDP에서 발견적 해법의 해 탐색 능력과 효율을 더욱 향상시켜 수요예측 모형과 연계한 의사결정지원시스템(DSS)을 개발한다면, 이러한 DSS는 국내의 많은 유통회사와 프랜차이즈 기업에서 공급자 주도 재고/분배 문제 해결에 매우 유용한 분석도구로서 활용될 수 있을 것이다. 또한, VMIDP에서 발견적 해법의 해 품질을 일정수준 보장하는 차량용량 및 소매점 저장 공간크기의 적정 범위를 구하는 분석적 방법의 개발연구도 흥미 있는 미래 과제가 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 심은연, "VMI 시스템의 성공적 운영조건", 『e-Logistics』, 제48호(2005).
- [2] 홍성철, 박양병, "소매점 공급사슬에서 소매점 주도와 공급자주도 재고정책에 대한 비교연구", 『대한산업공학회지』, 제32권, 제4호(2006), pp.382-392.
- [3] SpeedGeoX 1.0, 『HowTo』, 만도 맵앤소프트, 2002.
- [4] Abdelmaguid, T.F. and M.M. Dessouk, "A Genetic Algorithm Approach to the Integrated Inventory-Distribution Problem," *International Journal of Production Research*, Vol.44, No.21(2006), pp.4445-4464.
- [5] Bertazzi, L., Paletta, G. and Speranza, M. G., "Deterministic Order-up-to Level Policies in an Inventory Routing Problem," *Transportation Science*, Vol.36, No.1(2002), pp.119-132.
- [6] Carter, M.W., J.M. Farvolden, G. Laporte, and J. Xu, "Solving and Integrated Logistics Problem Arising in Grocery Distribution," *INFOR*, Vol.34, No.4(1996), pp.290-306.
- [7] Clarke, G. and J. Wright, "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points," *Operations Research*, Vol.12(1964), pp.568-581.
- [8] Federgruen, A. and P. Zipkin, "A Combined Vehicle Routing and Inventory Allocation Problem," *Operations Research*, Vol.32(1984), pp.1019-1037.
- [9] ILOG CPLEX 9.1, *User's Manual*, ILOG S. A., France, 2005.
- [10] Malandraki C. and M. Daskin, "Time Dependent Vehicle Routing Problems : Formulations, Properties and Heuristic Algorithms," *Transportation Science*, Vol.26, No. 3(1992), pp.185-199.
- [11] Rusdiansyah, A. and D-B. Tsao, "An Integrated Model of the Periodic Delivery Problems for Vending Machine Supply Chains," *Journal of Food Engineering*, Vol.70, No.3(2005), pp.421-434.
- [12] Siguaw, J.A., P.M. Simpson, and T.L. Baker, "Effects of Supplier Market Orientation on Distributor Market Orientation

- and the Channel Relationship : The Distributor Perspective," *Journal of Marketing*, Vol.62(1998), pp.99-111.
- [13] Viswanathan, S. and K. Mathur, "Integrating Routing and Inventory Decisions in One-warehouse Multiretailer Multiproduct Distribution Systems," *Management Science*, Vol.43(1997), pp.294-312.
- [14] Waller, M., M.E. Johnson, and T. Davis, "Vendor-managed Inventory in the Retail Supply Chain," *Journal of Business Logistics*, Vol.20, No.10(1999), pp.183-203.

〈부록〉 발견적해법의 통합수송 모색 과정 모의 프로그램

차량경로(t) : t 기간의 차량경로 집합
 방문소매점(r, t) : t 기간 차량 r 의 방문소매점 집합
 적재량(r, t) : t 기간 차량 r 의 적재량
 운행시간(r, t) : t 기간 차량 r 의 운행시간
 비용절감액 : 두 차량경로 결합시 절감되는 비용
 차량용량초과분 : 두 차량경로 결합시 차량용량을 초과하는 량
 Δt : 두 차량경로 결합시 차량운행시간 증감분
 Δz : 두 차량경로 결합시 차량용량 초과할 경우 직전기간으로 이전된 소매점 재고보충량
 Δb : 두 차량경로 결합시 차량용량 초과할 경우 직후기간으로 백로그된 소매점 재고보충량
 For $t = 1$ to T
 For $r_1 = 1$ to 차량경로(t), $r_1 = 1$ 새 차량경로(t), $r_1 \neq r_2$
 If 적재량(r_1, t)+적재량(r_2, t) $\leq C$ and 운행시간(r_1, t)+운행시간(r_2, t)+ $\Delta t \leq L$ then
 비용절감액 = $F + V\Delta t$
 Else if 적재량(r_1, t)+적재량(r_2, t) $\leq C$ and 운행시간(r_1, t)+운행시간(r_2, t)+ $\Delta t \leq L$ then
 차량용량초과분 = $C - \text{적재량}(r_1, t) + \text{적재량}(r_2, t)$
 For $x = 1$ to 차량용량초과분
 For $i = 1$ to 방문소매점(r_1, t) and 방문소매점(r_2, t)
 For $k = 1$ to K
 if $I_{ikt} \leq S_i$ and 적재량($r, t-1$) $\leq C$ and $r \in$ 차량경로($t-1$) and $r \in$ 방문소매점($r, t-1$) then $\Delta z = \Delta z + 1$
 Next k, i, x
 If $\Delta z \leq$ 차량용량초과분 then
 For $x = 1$ to 차량용량초과분 - Δz
 For $i = 1$ to 방문소매점(r_1, t) and 방문소매점(r_2, t)
 For $k = 1$ to K
 if $b_{ikt} \leq \alpha D_{ikt}$ and 적재량($r, t+1$) $\leq C$ and $r \in$ 차량경로($t+1$) and $r \in$ 방문소매점($r, t-1$) then
 $\Delta b = \Delta b + 1$
 Next k, i, x
 End if
 비용절감액 = $F + V\Delta t + \sum \sum (C_{ik} - C_{0k}) \Delta z + \sum \sum g_{ik} \Delta b$
 Else if 적재량(r_1, t) + 적재량(r_2, t) $\geq C$ then
 For $x = 1$ to 적재량(r_1, t) or 적재량(r_2, t)
 For $x = 1$ to 방문소매점(r_1, t) or 방문소매점(r_2, t)
 For $k = 1$ to K
 if $I_{ikt} \leq S_i$ and 적재량($r, t-1$) $\leq C$ and $r \in$ 차량경로($t-1$) and $i \in$ 방문수($r, t-1$) then $\Delta z = \Delta z + 1$
 Next k, i, x
 If $\Delta z \leq$ 적재량(r_1, t) then
 For $x = 1$ to 적재량(r_1, t) - Δz
 For $i = 1$ to 방문소매점(r_1, t)
 For $k = 1$ to K
 if $b_{ikt} \leq \alpha D_{ikt}$ and 적재량($r, t+1$) $\leq C$ and $r \in$ 차량경로($t+1$) and $r \in$ 방문소매점($r, t-1$)
 then $\Delta b = \Delta b + 1$
 Next k, i, x
 End if
 비용절감액 = $F + V\Delta t + \sum \sum (C_{ik} - C_{0k}) \Delta z + \sum \sum g_{ik} \Delta b$
 End if
 Next r_1, r_2, t

〈그림 5〉 발견적 해법의 통합수송 모색 과정(Step II) 모의 프로그램