

## 2단계 VMI 공급사슬에서 통합 재고/차량경로 문제를 위한 유전알고리즘 해법

박양병<sup>†</sup> · 박해수

경희대학교 테크노공학대학 산업공학과

### A Genetic Algorithm for Integrated Inventory and Routing Problems in Two-echelon VMI Supply Chains

Yang-Byung Park · Hae-Soo Park

Department of Industrial Engineering, College of Advanced Engineering, Kyung Hee University, Yongin 449-701, Korea

Manufacturers, or vendors, and their customers continue to adopt vendor-managed inventory(VMI) program to improve supply chain performance through collaboration achieved by consolidating replenishment responsibility upstream with vendors. In this paper, we construct a mixed integer linear programming model and propose a genetic algorithm for the integrated inventory and routing problems with lost sales maximizing the total profit in the VMI supply chains which comprise of a single manufacturer and multi-retailer. The proposed GA is compared with the mathematical model on the various sized test problems with respect to the solution quality and computation time. As a result, the GA demonstrates the capability of reaching solutions that are very close to those obtained by the mathematical model for small problems and stay within 3.2% from those obtained by the mathematical model for larger problems, with a much shorter computation time. Finally, we investigate the effects of the cost and operation variables on the total profit of the problem as well as the GA performance through the sensitivity analyses.

**Keywords:** Vendor-managed Inventory, Supply Chain Management, Inventory and Routing Problems, Genetic Algorithm, Mixed Integer Programming Model

#### 1. 서론

새로운 정보기술의 발전은 지난 수년 동안 소매점 공급사슬에서 공급자 주도 재고(vendor-managed inventory : VMI)라는 새로운 형태의 공급자-소매점 관계를 구축할 수 있게 해 주었다. VMI는 공급자가 소매점의 수요와 재고 정보를 공유하여 중앙의 사결정자의 위치에서 각 소매점의 재고보충을 전적으로 관리하는 새로운 재고관리 시스템으로, 전통적인 소매점 주도 재고(retailer-managed inventory : RMI)와 대비된다. 공급자는 소매점에서 재고가 판매될 때까지 재고를 소유하며, 소매점은 단지 재고의 저장공간을 제공하고 판매활동을 책임진다. 따라

서 VMI 환경에서 공급자는 소매점의 재고보충을 위한 시점과 물량, 그리고 매기 배송차량의 경로를 계획하는 동적 재고/차량경로 문제(dynamic inventory/routing problems in VMI : DIRPV)에 직면하게 된다. VMI는 궁극적으로 소매점에서 매대 배치와 진열까지를 공급자에게 위임한다.

RMI와 비교하여 VMI는 공급자의 주도로 보다 효율적인 생산 및 수송자원 활용의 이점을 제공한다(Disney and Towill, 2003). 또한, VMI 환경에서 공급자는 정확한 고객수요 정보를 토대로 채적효과(bullwhip effect)가 최소화된 제품 생산 및 구매에 의해 생산비와 구매비의 절감은 물론, 소매점에 대한 소량의 빈번한 재고보충에 의해 소매점의 재고와 품질을 동시에 줄일

본 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-D00561)

<sup>†</sup> 연락저자 : 박양병, 449-701 경기도 용인시 기흥구 서천동 1번지 경희대학교 테크노공학대학 산업공학과, Fax: 031-203-4004,

E-mail: ybpark@khu.ac.kr

2008년 2월 22일 접수; 2008년 4월 26일 수정본 접수; 2008년 5월 6일 게재 확정.

수 있다. 반면에, 소매점은 그들의 재고수준 관찰 및 주문작업으로부터 자유롭게 되어 판매에 전념할 수 있게 된다. VMI는 Proctor and Gamble(P&G), Wal-Mart, 풀무원, 홈플러스 등의 많은 국내의 기업에서 매우 성공적으로 운영되고 있다(Cetinkaya and Lee, 2000; Sim, 2005). VMI의 비용절감 혜택에 대한 이론적 연구로 Yao *et al.*(2007), Bertazzi *et al.*(2005) 등이 있다.

DIRPV는 재고문제와 수송문제의 상호작용에 기인하여 강한 NP-hard 성질을 지닌다. 이에 따라 그 동안의 DIRPV 해법 연구는 주로 공급사슬의 총비용을 최소화하는 발전적 해법의 개발에 집중되어 왔으며, 이들은 최적 수리모형의 완화, 메타휴리스틱, 순차적 해 탐색 등을 기반으로 하고 있다. 기존 발전적 해법들의 기본 접근방법은 재고보충과 차량경로 문제를 통합적으로 다루는 통합계획과 이들을 순차적으로 나누어 해결하는 분리계획으로 구분할 수 있다. 일반적으로, 통합계획은 분리계획과 비교하여 보다 나은 해를 구해주나, 특히 차량경로문제(vehicle routing problems : VRP)로 인해 문제크기의 제약과 긴 계산시간의 단점을 가지고 있다. DIRPV의 통합계획에 대한 연구로는 Abdelmaguid and Dessouky(2006), Rusdiansyah and Tsao(2005), Kleywegt *et al.*(2004) 등이 있으며, 분리계획에 대한 연구로는 Jarugumilli *et al.*(2006), Bertazzi *et al.*(2005), Campbell and Savelsbergh(2004) 등이 있다.

지금까지의 대부분의 DIRPV 연구에서는 소매점의 모든 품질을 주문잔고(backorders)로 가정하고 총 비용의 최소화를 목적으로 설정하고 있다. 그러나 소매점의 재고를 책임지고 있는 공급자의 입장에서 제품단위 당 운영비용이 수익을 초과하는 경우이면 의도적으로 소매점에서 품질을 허용하여 판매손실(lost sales)로 처리하기를 원할 수 있다. 이러한 경우에 공급사슬의 총 비용을 최소화하는 목적은 사용될 수 없으며, 대신에 공급사슬 총이익의 최대화를 목적으로 공급사슬을 운영하고, 추후 실현된 총이익을 공급자와 소매점이 적절히 분배할 수 있어야 한다. 또한, 기존의 DIRPV 연구에서는 배송차량의 소매점 영업시간 전 도착과 소매점에서 매대 또는 저장공간 크기의 현실적 제약을 무시하고 있음이 문제점으로 지적되고 있다.

유전알고리즘(genetic algorithm : GA)(Goldberg, 1989)은 생태계의 진화과정, 즉 자연선택의 유전적 메커니즘을 모방하여 확률적으로 해를 탐색하는 대표적 메타 휴리스틱으로, 공급사슬의 다양한 운영문제에서 탁월한 효과를 인정 받고 있다. 최근 수년 동안 DIRPV와 유사한 형태의 통합 재고(생산)/분배계획 문제에 GA를 적용하는 연구가 비교적 활발히 수행되고 있다.

Yokoyama(2002)는 정기발주 재고정책을 사용하는 물류센터의 재고/분배 통합계획에서 물류센터의 최대 재고수준과 소매점 배송량을 결정하기 위한 GA 해법을 개발하였다. Chan *et al.*(2004)은 다수 공장의 공급사슬에서 생산/분배의 통합계획을 위해 GA와 AHP(analytic hierarchy process)에 기반한 혼성해법을 개발하였다. Gen and Syarif(2005)는 다 품목, 다 기간의 생산/분배/재고를 통합적으로 계획하는 spanning tree 기반의 hybrid GA를 개발하였다.

그들은 알고리즘에 GA 파라미터들의 자동 튜닝을 위한 퍼지 로직 컨트롤러 개념을 적용하여 그들의 기존 GA 해법(Syarif *et al.*, 2002)의 효율을 향상하였다. Altıparmak *et al.*(2006)은 다단계, 단일 품목, 단일 원자재의 공급사슬 네트워크의 다목적 설계문제에 대한 Pareto 최적해 집합을 구하기 위해 생산/분배를 통합한 GA 기반 해법을 제안하였다. Altıparmak *et al.*(2007)은 다단계, 다 품목, 다 원자재의 공급사슬 네트워크의 최적 설계를 위해 생산/분배를 통합한 steady-state GA 기반 해법을 제시하였다. Chi *et al.*(2007)은 VMI 시스템의 최적화를 위해 machine learning과 GA를 결합한 DSS(decision support system) 유형의 알고리즘을 제안하였다.

DIRPV에 대한 GA 적용은 아주 최근에 Abdelmaguid and Dessouky(2006)에 의해 시도되었다. 그들은 총 비용을 최소화하는 DIRPV의 통합계획을 위해 GA 해법을 제안하여 Abdelmaguid (2004)가 그 전에 개발한 구축형 휴리스틱 및 최적 수리모형과 비교하였다. 그 결과, 제안된 GA는 기존 휴리스틱 보다 항상 뛰어난 해를 그리고 최적해 lower bounds의 20% 범위 내의 좋은 해를 제공해 주었다.

그들의 연구에서 사용한 DIRPV 모형 및 해법과 관련하여 몇 가지 사항이 중요한 문제점으로 지적된다. 첫째, 소매점의 모든 품질을 주문잔고로 가정하고 공급사슬에서 총비용의 최소화를 추구함으로써 공급사슬에서 총이익을 최대화하는 현실적 문제를 무시하고 있다. 둘째, 총비용 산정에 수송비, 소매점 재고비, 품질비만을 고려하고 공급자와 소매점의 다른 비용을 포함하지 않고 있다. 셋째, GA 진화과정에서 해의 차량용량 위반 여부를 판단하는데 있어 단순히 기별 총 배송물량과 총 수송능력(즉, 차량대수 × 대당 용량)을 비교함으로써 실행 불가능한 루트 해가 존재할 수 있다. 넷째, 해의 조작성에 의한 수송비 절감여부를 판단하는데 있어 차량 고정비는 무시하고 단순히 차량 변동비만을 고려하고 있다.

본 논문에서는 단일 공급자와 다수 소매점으로 이루어진 VMI 공급사슬에서 품질에 의한 판매손실과 실제적 제약조건이 고려된 총이익 최대화의 DIRPV에 대해 소매점 재고보충과 차량경로를 통합적으로 계획하는 최적 수리모형을 구축하고, 좋은 해를 효율적으로 찾아 주는 GA 해법을 제안한다. 제안된 GA의 성능 평가를 위해 다양한 크기의 문제에서 CPLEX에 의해 구해진 수리모형 해와 비교실험을 수행한다. 또한, 민감도 분석을 통해 DIRPV의 주요 운영 및 비용변수가 공급사슬의 총이익과 GA의 성능에 미치는 영향을 조사한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 1장의 서론에 이어, 제 2장에서는 본 논문에서 다루는 DIRPV가 최적 수리모형과 함께 정의된다. 제 3장에서는 제안된 GA 해법의 요소설계가 설명된다. 제 4장에서는 GA를 이용한 예제풀이, 최적 모형과의 비교 실험을 통한 GA 성능평가, DIRPV 주요 비용 및 운영변수에 대한 민감도 분석이 소개된다. 끝으로, 결론과 향후 과제가 제 5장에서 기술된다.

## 2. 문제 정의

본 논문에서는 단일 공급자, 다수 소매점, 다 기간, 단일 제품으로 구성된 2단계 VMI 공급사슬에서 총이익을 최대화하는 DIRPV를 다룬다. 계획기간 동안 각 소매점의 고객수요는 공급자에게 알려져 있으며, 소매점의 저장공간(또는 매대)의 크기는 한정되어 있다. 소매점에서는 재고부족 시에 품질을 허용하며, 품질은 모두 판매손실로 처리된다. 모든 소매점의 초기 및 계획기간 말 재고는 0으로 설정한다. 공급자는 초기에 계획기간 동안의 모든 소매점 보충 물량을 재고로 보유하고 있는 것으로 가정한다. 따라서 계획기간 말 공급자 재고는 0이 된다. 공급자의 소매점 재고보충은 동일한 적재용량의 차량을 이용하여 이루어지며, 기 초에 차량들은 공급자 depot를 동시에 출발하여 반드시 소매점 개점시간 전에 모든 배송을 완료하고 귀환해야 한다. 매기 공급자의 최대 수송능력은 가용 차량대수와 해당 차량용량을 곱한 크기로 정의된다. 지점간 차량 이동시간은 거리와 동일한 것으로 가정한다.

모든 소매점에서 판매가격은 동일하다. 소매점에서는 재고 유지비와 확보된 저장공간에 대한 고정비용이 발생한다. 매기 수송비는 해당 기의 소요 차량대수에 비례하는 고정비와 이동 거리에 비례하는 변동비로 이루어진다. 차량 고정비는 감가상각비, 인건비, 배송준비비 등의 합으로 결정된다. 차량 변동비는 연료비에 해당된다. 공급사슬에서 발생하는 비용 중 공급자 생산비, 공급자와 소매점 재고유지비, 수송비는 공급자의 비용, 그리고 소매점 구매비와 저장공간비는 소매점의 비용으로 처리된다. 총 이익은 총 판매수입에서 공급자와 소매점의 총비용을 뺀으로써 구해진다. 공급자와 소매점 간의 총이익 분배문제는 본 논문에서 다루지 않는다.

DIRPV의 수리모형 구축을 위해 사용된 입력 및 결정변수는 다음과 같다.

### • 입력변수

- $R$  = 소매점 수
- $T$  = 계획기간
- $V$  = 기별 가용 차량대수(즉, 기별 총수송능력/차량용량)
- $p$  = 소매점의 개당 판매가격
- $c$  = 공급자의 개당 생산비
- $D_{it}$  =  $t$ 기 소매점  $i$ 의 고객수요
- $G$  = 차량용량(개)
- $U$  = 소매점 개점시간(즉, 차량운행시간 상한)
- $K$  = 차량 대당 고정비
- $v$  = 차량 단위 변동비
- $a_{ij}$  = 지점  $i$ 에서  $j$ 까지 이동시간(즉, 이동거리)
- $h_1$  = 공급자에서 단위 재고유지비(₩/개 · 기)
- $h_2$  = 소매점에서 단위 재고유지비(₩/개 · 기)
- $O_i$  = 소매점  $i$ 의 저장공간 크기(개)
- $q_i$  = 소매점  $i$ 의 단위 저장공간비(₩/개 · 기)

$u_i$  = 소매점  $i$ 에서 하역시간

$M$  = 아주 큰 수

### • 결정변수

$I_{it}$  =  $t$ 기말 공급자( $i=0$ )와 상점  $i$ 의 재고수준

$b_{it}$  =  $t$ 기 소매점  $i$ 의 품질량

$\delta_{it}$  =  $t$ 기 소매점  $i$ 의 재고보충량

$g_{it}$  =  $t$ 기 소매점  $i$ 에 도착 시 차량적재량( $i=0$  경우, 공급자 depot 출발 시 차량적재량)

$e_{it}$  =  $t$ 기 소매점  $i$ 에 차량 도착시간

$x_{ijt}$  = 1 만약 차량이  $t$ 기에 지점  $i$ 에서  $j$ 로 이동하면,  
0 아니면

$y_{it}$  = 1 만약  $t$ 기에 소매점  $i$ 에 재고보충이 존재하면,  
0 아니면

$$\begin{aligned} \text{Max } Z = & (p-c) \sum_{i=1}^R \sum_{t=1}^T (D_{it} - b_{it}) - \sum_{t=1}^T h_1 I_{0t} \\ & - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^R \sum_{t=1}^T h_2 (I_{i,t-1} + \delta_{it} + I_{it}) - T \sum_{i=1}^R q_i O_i \\ & - K \sum_{i=1}^R \sum_{t=1}^T x_{0it} - v \sum_{i=0}^R \sum_{j=1}^{R+V} \sum_{t=1}^T a_{ij} x_{ijt} \end{aligned} \quad (1)$$

s.t.

$$I_{0t} = i_{0,t-1} - \sum_{i=1}^R \delta_{it} \quad t = 1, \dots, T \quad (2)$$

$$I_{i,t-1} + \delta_{it} - D_{it} + b_{it} = I_{it} \quad i = 1, \dots, R; t = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$I_{i,t-1} + \delta_{it} \leq O_i \quad i = 1, \dots, R; t = 1, \dots, T \quad (4)$$

$$\delta_{it} \leq M y_{it} \quad i = 1, \dots, R; t = 1, \dots, T \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^R x_{ijt} = y_{jt} \quad j = 1, \dots, R; t = 1, \dots, T \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{R+V} x_{ijt} = y_{jt} \quad i = 1, \dots, R; t = 1, \dots, T \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^{R+V} x_{0jt} = V \quad t = 1, \dots, T \quad (8)$$

$$\sum_{i=0}^R x_{ijt} = 1 \quad j = R+1, \dots, R+V; t = 1, \dots, T \quad (9)$$

$$e_{jt} - e_{it} - \text{MAX} \cdot x_{ijt} \geq a_{ij} + u_i - \text{MAX}$$

$$e_{jt} - e_{it} + \text{MAX} \cdot x_{ijt} \leq a_{ij} + u_i + \text{MAX}$$

$$i = 0, \dots, R; j = 1, \dots, R+V; i \neq j; t = 1, \dots, T \quad (10)$$

$$e_{jt} \leq U \quad j = R+1, \dots, R+V; t = 1, \dots, T \quad (11)$$

$$g_{it} - g_{jt} - \text{MAX} \cdot x_{ijt} \geq \delta_{it} - \text{MAX}$$

$$g_{it} - g_{jt} + \text{MAX} \cdot x_{ijt} \leq \delta_{it} + \text{MAX}$$

$$i = 0, \dots, R; j = 1, \dots, R+V; i \neq j; t = 1, \dots, T \quad (12)$$

$$g_{0t} \leq G \quad t = 1, \dots, T \quad (13)$$

$$I_{i0} = 0, b_{i0} = 0, I_{iT} = 0, b_{iT} = 0, I_{it} \geq 0, b_{it} \geq 0$$

$$x_{ijt} = \{0, 1\}, y_{it} = \{0, 1\}, g_{it} \geq 0, e_{it} \geq 0, \delta_{it} \geq 0$$

$$i = 0, \dots, R; j = 1, \dots, R + V; t = 1, \dots, T \quad (14)$$

목적함수 (1)은 공급사슬에서 총이익의 최대화를 추구한다. 식에서 재고유지비는 기간 내 평균 재고수준에 대해 계산된다. 제약식 (2)는 기별 공급자 재고수준을 산정한다. 제약식 (3)은 기별 소매점 재고수준과 품질을 산정한다. 제약식 (4)는 소매점 저장공간 크기를 제한한다. 제약식 (5)는 소매점 재고보충이 존재하는 경우  $y_{it}$  값을 1로 정해 식 (6)과 식 (7)에서 해당 소매점을 차량경로에 포함하게 한다. 제약식 (6)~식 (9)는 모두 공급자 depot와 동일한 위치의  $R + 1, \dots, R + V$ 의 가상지점으로 각각 귀환하는 최대  $V$ 대의 기별 차량경로를 결정한다. 제약식 (10)과 식 (11)은 차량의 소매점 도착시간을 산정하여 차량이 항상 소매점 개점시간 이전에 도착하도록 제한한다. 제약식 (12)와 식 (13)은 소매점 도착 시 차량적재량을 계산하여 depot 출발 시의 차량 적재용량을 제한한다.

### 3. GA 해법

CPLEX 실행을 통해 수리모형의 작동을 살펴보면, CPLEX는 분지한계법을 이용한 해의 생성과정에서 소매점 재고보충 시기와 수량의 결정을 우선적으로 시도한 다음, 재고보충이 존재하는 기들에 대해 최적 차량경로를 구한다. 이것은 특정 기에 소매점 재고보충 여부와 수량으로 인해 직접적으로 영향을 받는 판매손실, 소매점 재고유지비, 차량고정비의 합이 차량변동비보다 훨씬 크기 때문이다. 즉, 수리모형은 비록 총이익을 최대화하기 위해 수입과 각종 비용들 간의 효과적인 trade-off를 통해 재고보충과 차량경로의 결정을 동시에 추구하도록 구축되어 있지만, 소매점 재고보충 시기와 수량의 결정이 중심이 되고 있다. 따라서 CPLEX는 판매손실과 차량고정비를 최대한 줄이기 위해 수송능력과 소매점 저장공간 범위 내에서 가능한 한 많은 물량을 사전에 소매점으로 보내는 재고보충 해를 집중적으로 탐색하는 것으로 나타났다. 수리모형의 이러한 작동원리를 기반으로 초기해 생성에서 Abdelmaguid and Dessouky(2006)가 사용한 수송비와 품질비의 비교에 의해 통합을 시도하는 기본개념을 본 논문의 문제 특성에 맞게 개량 적용하여 GA 해법을 개발한다.

### 3.1 해 표현

소매점 보충시기와 수량을 함께 나타내기 위해 2차원 매트릭스를 사용한다. 매트릭스의 열과 행은 각각 기와 소매점 번호를 나타내며, 매트릭스의 인자(genes) 값은 해당 기에 해당 소매점의 재고보충량을 의미한다. 기별 차량경로를 나타내기 위해 별도의 2차원 매트릭스를 사용하며, 매트릭스의 행에는 각 기의 차량별 경로가 순차적으로 소매점 번호로 표현된다. 각 차량의 경로는 항상 공급자 depot를 나타내는 0부터 시작한다. 진화과정에서 유전연산은 단지 재고보충 해 매트릭스에 대해서만 이루어지며, 차량경로 매트릭스는 단순히 재고보충 해에 대한 기별 차량경로를 표현하기 위해 사용된다.

단일 공급자, 4개 소매점, 4기 계획기간으로 구성된 공급사슬에서 기별 가용 차량대수가 2대, 차량용량이 60개, 소매점 개점시간이 80, 소매점 저장공간 크기가 50개인 간단한 예에 대한 한 개의 실행 가능한 해를 <Figure 1>에 나타낸다. 그림에서는 주어진 소매점 고객수요에 대한 재고보충 및 차량경로 해를 각각 <Figure 1>(a)와 <Figure 1>(b)에 보여준다. 차량경로 해에서 4기의 경우 소매점 3은 개점시간 제약 때문에 첫 번째 경로에 포함되지 못하고 별도의 경로가 구성된다.

### 3.2 초기 해 생성

모집단의 재고보충 초기해는 아래의 두 단계 과정을 거쳐 만들어진다. 재고보충 해의 생성과정에서 차량경로 해는 r-savings 기법을 적용하여 구한다. r-savings 기법은 Clarke and Wright's savings 기법(1964)에 의해 구해진 해의 각 루트에 2-opt exchange 기법(Cordeau *et al.*, 2002)을 적용하여 지역 최적화를 결합한 휴리스틱이다. 각 단계에서 절차는 다음과 같다.

#### • 단계 I : 재고 없는 초기 할당

부호(추가)

$$ET_{it} = t \text{기 소매점 } i \text{의 추정 수송비로서, } ET_{it} = K(\delta_{it} / \sum_{j \in \theta(i)} \delta_{jt}) + i \text{에 대한 차량변동비}$$

$\theta(i)$  = 소매점  $i$ 가 속한 루트

1. 전체 기간과 모든 소매점에 대해 소매점의 고객수요와 저장

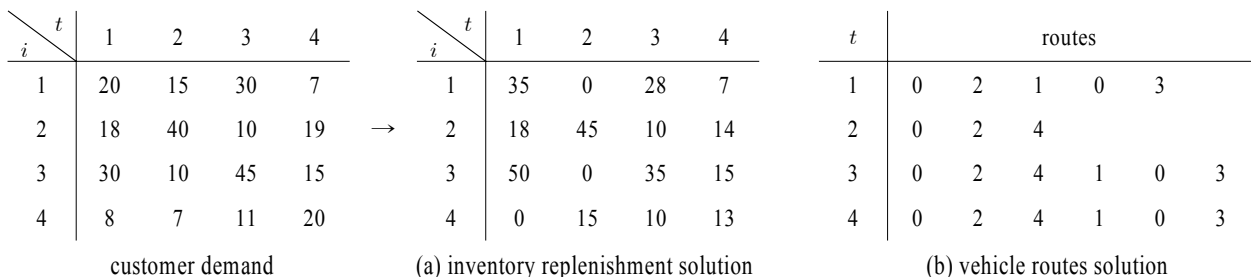


Figure 1. Example of a solution representation

공간을 고려하면서 소매점에서 고객수요를 재고를 사용하지 않고 충족하도록 보충량을 할당한다. 고객수요가 소매점 재고 공간 보다 큰 경우에는 소매점 저장공간 크기만큼만 할당하며, 그렇지 않은 경우에는 고객수요와 같게 할당한다. 그리고 매기 가용 차량대수에 제한 없이 차량경로를 결정한다.

2. 매기  $(p-c)\delta_{it} \leq ET_{it}$ 인, 즉 소매점의 판매손실보다 추정 수송비가 더 큰 모든 소매점은 보충량을 50% 확률로써 0으로 변경한다. 제거된 소매점이 포함된 기에 대해서는 차량 경로를 갱신한다.
3. 가용 차량대수를 초과하는 기에 대해서는 차량의 여유용량이 많은 루트 순으로 초과된 수만큼의 루트를 제거하고, 제거된 루트에 속한 소매점의 보충량은 모두 0으로 변경한다.

### • 단계 II : 보충량의 전기 통합

후속 기의 보충을 보충이 있는 전기로 이전 통합함으로써 감소되는 수송비와 증가하는 재고유지비의 차이로 비용절감을 추정하여, 비용절감이 예상되는 경우에 차량용량과 소매점 저장공간의 여유를 고려하여 가능한 만큼의 물량을 전기로 이전 통합한다.

#### 부호(추가)

$$RS_{it} = t \text{기 소매점 } i \text{의 여유 저장공간(즉, } RS_{it} = O_i - I_{i,t-1} - \delta_{it})$$

$$RV_{\theta(i),t} = t \text{기 } \theta(i) \text{의 여유 차량용량}$$

1.  $t=1$ 부터 시작하여  $t=T-1$ 까지 2~3을 반복 실행한다.
2. 모든 소매점에 대해  $t$ 기 직후 기로부터의 이전 가능한 물량의 통합에 따른 비용절감 효과  $\eta_i = ET_{i,t+1} - \Delta t_i (h_2 - h_1) \cdot \min(RV_{\theta(i),t}, \delta_{i,t+1}, RS_{it})$ 를 계산한 다음,  $\eta_i > 0$ 인 소매점들로서 집합  $\Pi_A$  구성하여  $\Pi_A$ 에 속한 소매점들에 대해 확률  $P(i) = \eta_i / \sum_{i \in \Pi_A} \eta_i$ 를 계산한다. 만일  $\Pi_A = \phi$ 이면,  $t=t+1$ 로 하고 2를 시작한다. 아니면, 3으로 진행한다.  $\Pi_A = \phi$ 인 경우에  $t+1$  이후 기 물량의 이전을 더 이상 고려하지 않은 이유는 그 전기들에서 소매점 저장공간 제약의 위반 가능성이 존재하기 때문이다.
3.  $P(i)$ 식에 의해 계산된 소매점들의 확률 값을 토대로  $\Pi_A$ 에서 선정된 소매점을  $j$ 라 하자.

for  $\Delta t_j = 1$  to  $T-t$

$moveq = \min(RV_{\theta(j),t}, \delta_{j,t+\Delta t_j}, RS_{jt})$ 를 구한 다음,  $\eta_j = ET_{j,t+\Delta t_j} - \Delta t_j (h_2 - h_1) \cdot moveq$ 를 계산한다. 만일  $RV_{\theta(j),t} > 0$  &  $RS_{jt} > 0$  &  $\eta_j > 0$ 면,  $RV_{\theta(j),t} = RV_{\theta(j),t} + moveq$ ,  $RS_{jt} = RS_{jt} + moveq$ ,  $\delta_{jt} = \delta_{jt} + moveq$ ,  $\delta_{j,t+\Delta t_j} = \delta_{j,t+\Delta t_j} - moveq$ , 그리고  $t + \Delta t_j$  기의 차량경로와 소매점 관련자료 값을 갱신한다. 아니면,

return

$\Pi_A$ 에서  $j$ 를 제거하고  $\Pi_A = \phi$ 이 될 때까지 3을 반복한다.

- ④ 소매점의 판매손실보다 추정 수송비가 더 큰 보충을 제거하기 위해  $(p-c)\delta_{it} \leq ET_{it}$ 인 모든 보충의 수량을 0으로 변경하고, 해당 기의 차량경로와 소매점 관련자료 값을 갱신한다.

### 3.3 적합도 평가와 선별

해 개체의 적합도(fitness) 평가는 제 2장에 정리되어 있는 수리모형의 목적식 (1)을 이용한다. 진화과정에서 새로운 모집단은 그 동안 구해진 고정 개수의 가장 좋은 해(즉, elitist set)를 우선적으로 포함하고, 나머지는 현 모집단 개체들을 그들의 상대적 적합도를 기준으로 선별하는 roulette wheel 방법을 적용 구성한다. 개체의 선별확률 계산에 상대적 적합도를 사용하는 것은 모집단 개체들의 적합도의 범위가 크지 않은 경우에도 개체들의 우열을 명확히 하여 상대적으로 우수한 개체를 보다 많이 선별하기 위함이다. 개체  $k$ 의 상대적 적합도는 다음과 같이 계산된다.

$$f'_k = \frac{f_k - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}$$

여기서  $f_{\min}$ 과  $f_{\max}$ 는 모집단 개체들의 적합도 중에서 각각 최솟값과 최댓값,  $f_k$ 는 개체  $k$ 의 적합도를 나타낸다.

### 3.4 교차변이

두 부모에 대해 수평과 수직 교차변이(crossover) 두 가지를 선택적으로 적용하여 두 개의 자손을 생성한다. 두 부모는 교차변이율  $p_c$ 에 따라 선택되고, 수평과 수직 교차변이는 각각 비율  $p_c(H)$ 와  $p_c(V) (= 1 - p_c(H))$ 에 의해 선택된다. 부모 개체에서 수평 교차변이 대상 행은 확률  $p_c^{row}$ 에 의해 선택된다.

#### A. 수평 교차변이

수평 교차변이는 두 부모에서 선택된 소매점의 모든 재고보충계획 인자(즉, 기별 보충량을 나타내는 행)를 맞교환 함으로써 자손을 생성한다. 수평 교차변이가 이루어지면 선택된 소매점들의 재고보충계획은 그대로 자손에게 상속되어 자손 해에서 소매점 개점시간과 저장공간 제약은 유지되나, 해당 소매점에 대한 기별 차량용량과 가용 차량대수는 위반될 수 있다. 따라서 수평 교차변이에 의해 생성된 자손 해에 대해서는 항상 실행가능성을 조사하고, 필요한 경우 보수작업을 실시하여야 한다. 보수작업은 수송능력을 초과한 기의 잉여물량을 우선적으로 다른 기의 품질보충에 사용함으로써 판매수입이 증가하는 좋은 해가 만들어지도록 한다. 보수작업의 절차는 다음과 같다.

- 보수작업

- 부호(추가)

- $NV_t = t$ 기 소요 차량대수

- $\Phi_t = t$ 기 차량용량의 여유가 많은 루트 순으로 정리된 루트 집합

1. 최소 한 개 소매점에 대해 보충이 새로 발생하거나 물량이 증가한 모든 기에 대해 차량대수의 제한 없이 차량경로를 갱신한다. 그리고 가용 차량대수를 초과한 기의  $\Phi_t$ 에서 상위  $NV_t - V$ 개의 루트에 속한 소매점들로서 집합  $\Pi_t$ 를 구성한다.

2.  $NV_t - V$ 인 모든 기에 대해 가장 이른 기부터 시작하여 2를 반복 적용한다.

- for  $i \in \Pi_t$

- 2.1. 소매점  $i$ 에서 품질이 존재하는 모든 기에 대해 가장 이른 기부터 시작하여 순차적으로  $a$ 기에  $\Psi_{ia} = \min(RV_{\theta(i),a}, b_{ia}, RS_{ia}, \delta_{it})$ 만큼의 품질을 보충한다. 그리고  $b_{ia} = b_{ia} - \Psi_{ia}$ ,  $\delta_{it} = \delta_{it} - \Psi_{ia}$ .

- 2.2. 만일 아직  $\delta_{it} > 0$ 이면, 이 물량을 현재  $t$ 기의 직전 기부터 시작하여  $t = 1$ 기까지 역으로  $a$ 기에  $\Psi_{ia} = \min(RV_{\theta(i),a}, b_{ia}, RS_{ia}, \delta_{it})$ 를 이전하고,  $\delta_{ia} = \delta_{ia} + \Psi_{ia}$ ,  $\delta_{it} = \delta_{it} - \Psi_{ia}$ . 아니면, **return**.

- 2.3. 만일 아직  $\delta_{it} > 0$ 이면,  $\delta_{it} = 0$ . 아니면, **return**.

- return**

3. 차량경로와 소매점 관련자료 값을 갱신한다.

### B. 수직 교차변이

수직 교차변이는 두 부모에서 임의로 공통의 수직 절단 점 한 개를 정하여 두 부모의 앞 부분 또는 뒤 부분을 임의로 선택하여 맞교환 한다. 수직 교차변이는 모든 상점에 대해 일부 계획기간의 재고보충계획을 집단으로 변경하므로 소매점의 재고와 품질에 영향을 미쳐 해의 품질을 저하시킬 가능성이 높다. 그러므로 수직 교차변이는 해 탐색의 영역을 넓히기 위해 새로운 해를 생성하는 돌연변이의 성격을 강하게 내포하고 있다고 볼 수 있다.

수직 교차작업 후에 개점 시간과 차량용량 제약은 원래대로 유지되나, 앞 부분 교환 시는 절단 점 직전 기의 기말재고 그리고 뒤 부분 교환 시는 절단 점 직후 기의 보충량 변화로 인해 절단 점 이후 기에 소매점 저장공간 제약이 위반될 수 있다. 따라서 생성된 자손 해에 대해서는 항상 실행 가능성을 조사하고, 필요하면 저장공간을 초과하는 보충량의 감축을 위한 보수작업을 실시하여야 한다. 보수작업의 절차는 다음과 같다.

- 보수작업

1. 저장공간을 초과한 모든 소매점  $i$ 에 대해 절단 점 직후 기부터 시작하여 순차적으로 보충량을 감축한다. 즉,  $I_{i,t-1} + \delta_{it} > O_i$ 면,  $\delta_{it} = O_i - I_{i,t-1}$ ,  $I_{it} = \text{Max}(I_{i,t-1} + \delta_{it} - D_{it}, 0)$ ,

$$b_{it} = \text{Max}(D_{it} - I_{i,t-1} - \delta_{it}, 0).$$

2. 모든 감축 작업을 수행한 후에도 최종 기에 재고가 남아 있는 경우에는 계획기간 말부터 시작하여 역으로 이전 기들에 대해 보충량을 추가 감축한다. 즉,  $I_{iT} > 0$ 면,  $\kappa_i = I_{iT}$ 를 초기 값으로 하고,  $\text{temp} = \text{Max}(\delta_{it} - \kappa_i, 0)$ ,  $k_i = \text{Max}(\kappa_i - \delta_{it}, 0)$ ,  $\delta_{it} = \text{temp}$ .
3. 전 기간에 대해 소매점 관련 자료와 수정된 모든 기에 대해 차량경로를 갱신한다.

### 3.5 돌연변이

돌연변이(mutation)는 교차변이에 의해 생성된 모든 자손에 대해 해의 개선을 기대하며 이루어진다. 돌연변이는 대상 자손 개체에서 품질이 존재하는 인자 중에서 돌연변이율  $p_m$ 에 의거 선택된 인자에 적용된다. 만일 인자의 해당 기와 소매점에 보충이 없으면, 먼저 해당 기에 가능한 만큼 품질을 보충하고 그래도 품질이 존재하면 직전 기부터 시작하여 역으로 전기에 보충량의 추가를 도모한다. 만일 인자의 해당 기와 소매점에 보충이 있으면, 전기로 이 보충량의 통합을 도모한다. 돌연변이의 절차는 다음과 같다.

1. 만일 인자의  $\delta_{it} > 0$ 면, 2로 진행한다. 아니면,

- for  $\Delta t = 0, \dots, t-1$

- 만일  $\delta_{i,t-\Delta t} > 0$ 면,

$$\delta_{i,t-\Delta t} = \delta_{i,t-\Delta t} + \text{Min}(b_{it}, RV_{\theta(i),t-\Delta t}, RS_{i,t-\Delta t}),$$

$$b_{it} = b_{it} - \text{Min}(b_{it}, RV_{\theta(i),t-\Delta t}, RS_{i,t-\Delta t}). \text{ 만일}$$

$$b_{it} = 0 \text{면, out of for-loop.}$$

- 만일  $\delta_{i,t-\Delta t} = 0$ 면,  $\delta_{i,t-\Delta t} = \text{Min}(b_{it}, RS_{i,t-\Delta t})$ ,

$$b_{it} = b_{it} - \text{Min}(b_{it}, RS_{i,t-\Delta t}). \text{ 그리고 } t - \Delta t \text{기의}$$

$$\text{차량경로를 갱신한다. 만일 } NV_{t-\Delta t} > V \text{면, } \delta_{i,t-\Delta t}$$

$$= 0, b_{it} = b_{it} + \text{Min}(b_{it}, RS_{i,t-\Delta t}). \text{ 만일 } b_{it} = 0 \text{면,}$$

$$\text{out of for-loop.}$$

- return**

- 소매점의 재고수준을 갱신한다. 만일  $\delta_{it} > 0$ 이면, 2로 진행한다. 아니면, **stop**.

2. 초기해 생성의 단계  $\Pi$ 를 적용하여 현재의 배송량  $\delta_{it}$ 를 전 기로 통합한다.

## 4. 계산연구

수리모형의 풀이는 CPLEX 9.1(2005)을 이용하며, GA는 Visual Basic 6.0으로 프로그램을 작성한다. 모든 계산실험은 PC(AMD Athlon 64 X2 Dual Core Processor 4200+, CPU 2.21GHz, 3GB RAM)에서 수행된다. CPLEX의 실행은 최소 95% 이상의 최적성을 보장하면서 계산시간을 최대 10시간으로 제한한다. 수리



**Table 2.** Comparison of the optimal mathematical model and GA on the test problems

Problem		Solution	Vendor			Retailer		Transportation		Profit	Error rate(%)	GA computation time(sec)
R×T	Rep		Revenue	Production cost	Inventory carrying cost	Storage space cost	Inventory carrying cost	Fixed cost	Variable cost			
6×6	1	Opt Model	7371	17199	223	58	370	900	858	4962	0.4	9
		GA	7353	17157	210	58	403	900	840	4942		
	2	Opt Model	8325	19425	282	58	372	1000	1011	5602	0.6	9
		GA	8325	19425	259	58	433	1000	1009	5566		
	3	Opt Model	7893	18417	270	58	335	900	890	5440	1.0	7
		GA	7893	18417	241	58	412	900	894	5388		
6×9	1	Opt Model	12159	28371	721	86	609	1400	1321	8022	1.4	13
		GA	12159	28371	691	86	689	1400	1382	7911		
	2	Opt Model	10926	25494	591	86	601	1300	1290	7058	1.7	13
		GA	10917	25473	555	86	693	1300	1346	6937		
	3	Opt Model	11457	26733	656	86	571	1300	1244	7600	0.9	11
		GA	11457	26733	609	86	696	1300	1234	7532		
6×12	1	Opt Model	15750	36750	1271	115	789	1800	1751	10024	2.6	19
		GA	15687	36603	1158	115	1057	1900	1697	9760		
	2	Opt Model	15192	35448	1208	115	854	1700	1781	9534	2.7	16
		GA	15192	35448	1143	115	1026	1800	1830	9278		
	3	Opt Model	16254	37926	1357	115	840	1900	1715	10327	1.6	19
		GA	16254	37926	1265	115	1086	1900	1725	10163		
9×6	1	Opt Model	11304	26376	378	86	519	1300	1233	7788	1.3	12
		GA	11304	26376	326	86	660	1300	1247	7685		
	2	Opt Model	11511	26859	417	86	481	1300	1313	7914	1.6	13
		GA	11511	26859	319	86	741	1300	1280	7785		
	3	Opt Model	12492	29148	400	86	584	1400	1437	8585	1.9	17
		GA	12483	29127	382	86	628	1400	1569	8418		
9×9	1	Opt Model	17892	41748	1033	130	828	2100	1897	11904	1.6	23
		GA	17892	41748	987	130	951	2100	2007	11717		
	2	Opt Model	17424	40656	1023	130	800	2000	1906	11565	1.8	20
		GA	17388	40572	935	130	1027	2000	1943	11353		
	3	Opt Model	17802	41538	1010	130	980	2000	2034	11648	2.5	18
		GA	17784	41496	958	130	1114	2100	2124	11358		
9×12	1	Opt Model	25020	58380	2108	173	1080	2900	2700	16059	1.9	30
		GA	25020	58380	1980	173	1423	2900	2786	15758		
	2	Opt Model	23580	55020	2029	173	1064	2700	2568	15046	2.6	28
		GA	23580	55020	1886	173	1444	2700	2716	14661		
	3	Opt Model	23940	55860	1932	173	1088	2800	2748	15199	3.2	29
		GA	23778	55482	1753	173	1484	2800	2857	14711		
12×6	1	Opt Model	16137	37653	538	115	720	1800	1756	11208	1.8	24
		GA	16020	37380	483	115	837	1800	1774	11011		
	2	Opt Model	15777	36813	541	115	677	1800	1725	10919	1.8	24
		GA	15777	36813	455	115	906	1800	1774	10727		
	3	Opt Model	16137	37653	510	115	738	1800	1599	11375	1.6	25
		GA	16065	37485	471	115	823	1800	1665	11191		
12×9	1	Opt Model	22905	53445	1291	173	1059	2600	2490	15292	3.2	32
		GA	22446	52374	1164	173	1332	2500	2476	14801		
	2	Opt Model	23301	54369	1362	173	1090	2600	2472	15604	2.9	37
		GA	23202	54138	1208	173	1466	2700	2511	15144		
	3	Opt Model	23571	54999	1347	173	1064	2700	2362	15925	2.2	33
		GA	23472	54768	1218	173	1371	2700	2443	15567		
12×12	1	Opt Model	31689	73941	2558	230	1513	3600	3280	20508	2.4	47
		GA	31608	73752	2406	230	1876	3600	3484	20012		
	2	Opt Model	30258	70602	2417	230	1483	3400	3236	19492	3.1	44
		GA	30168	70392	2285	230	1780	3500	3492	18881		
	3	Opt Model	30897	72093	2552	230	1349	3500	3125	20141	2.2	47
		GA	30843	71967	2548	230	1332	3600	3431	19702		



형에 대한 CPLEX gap은 3.4~5.0%로 나타났다.

<Table 2>에서 27개 문제에 대한 오차율을 살펴 보면, 작은 문제에서는 1% 이내 그리고 큰 문제에서는 3.2% 이내로, 전체 평균이 1.94%로 매우 낮다. 소매점과 기간의 수가 증가하여 문제크기가 커짐에 따라 오차율이 점차 커지는 현상은 문제크기가 커짐에 따라 GA가 탐색해야 하는 해 공간이 커져 보다 긴 진화과정이 필요한데 모두 동일하게 100세대로 종료한 때문인 것으로 보인다. 큰 문제에서는 100~200세대에서 작지만 간헐적으로 해의 개선을 보이다가 안정적으로 수렴하는 것을 확인하였다. 모든 문제에서 GA은 100세대 까지 7~47초의 짧은 계산시간을 소요하여, 6×6 크기 이외의 문제에서 7~10시간을 소요하는 최적 수리모형과 비교하여 매우 효율적인 것으로 나타났다.

<Table 2>에 정리되어 있는 각종 비용의 관점에서 두 해법을 비교해 보면, 거의 모든 문제에서 수리모형은 최대한 불필요한 품절을 줄여 판매수입을 높임으로써 보충량 증가로 인해 늘어난 공급자 생산비와 재고유지비를 공제하고도 GA 보다 더 큰 총이익을 제공하고 있다. 그리고 수리모형은 필요한 경우 JIT 배송을 구현함으로써 여러 기 수주의 통합수송을 기본으로 하는 GA 해법 보다 현저히 적은 소매점 재고유지비를 생성하고 있다. 반면에, GA는 수리모형 보다 더 적은 공급자 재고유지비와 휴리스틱을 적용하는 차량경로계획으로 인해 더 많은 수송비를 생성하고 있다. 문제의 계획기간이 증가하면 두 해법 모두에서 소요 차량대수가 늘어나 고정 수송비가 증가함을 알 수 있다. 또한, 소매점 수와 계획기간이 같은 문제라도 소매점 위치와 고객수요가 변화하면 소요 차량대수가 달라

져 고정 수송비가 변화함을 알 수 있다. 이러한 결과에 비추어, 제안된 GA는 불필요한 품절발생과 과도한 통합수송을 줄이고 좀 더 우수한 차량경로계획 방법을 적용하는 설계 보안을 통해 개선이 가능할 것이다.

### 4.3 민감도 분석

DIRPV의 비용 및 운영변수에 대한 GA 오차율 변화와 DIRPV의 시스템 운영변수에 대한 총이익 변화를 조사하는 민감도 분석을 실시한다. 민감도 분석을 위해 소매점 수가 12개, 계획기간이 9기, 가용 차량이 4대 그리고 나머지 입력변수는 제4.2절의 비교실험에서와 동일한 값의 기본문제를 구축한다. 시스템 운영변수에 대한 민감도 분석에서 기별 가용 수송능력은 400으로 설정한다. 인터넷을 통해 조사한 차량 적재 톤수와 실제 차량가격 자료를 토대로 유도된  $R^2=0.929$ 의 회귀식  $y=54.3+0.457x$ 를 이용하여 차량용량( $x$ )에 대한 차량 대당 고정비( $y$ )를 결정한다. 예로서, 차량용량 100의 고정비는 100이 된다.

DIRPV의 비용 및 운영변수가 수리모형에 대한 GA의 오차율에 미치는 영향을 조사하기 위해 소매점 단위 재고유지비, 차량 대당 고정비와 단위 변동비, 소매점 저장공간 크기, 차량용량의 총 5가지 변수를 선정하여 민감도 분석을 실시한 결과가 <Figure 4>에 정리되어 있다. 5가지 변수 중 차량 대당 고정비를 제외하고 모두 오차율에 유의적으로 영향을 미치는 것으로 나타났다.

<Figure 4>(a)에서 오차율은 소매점 단위 재고유지비가 증가

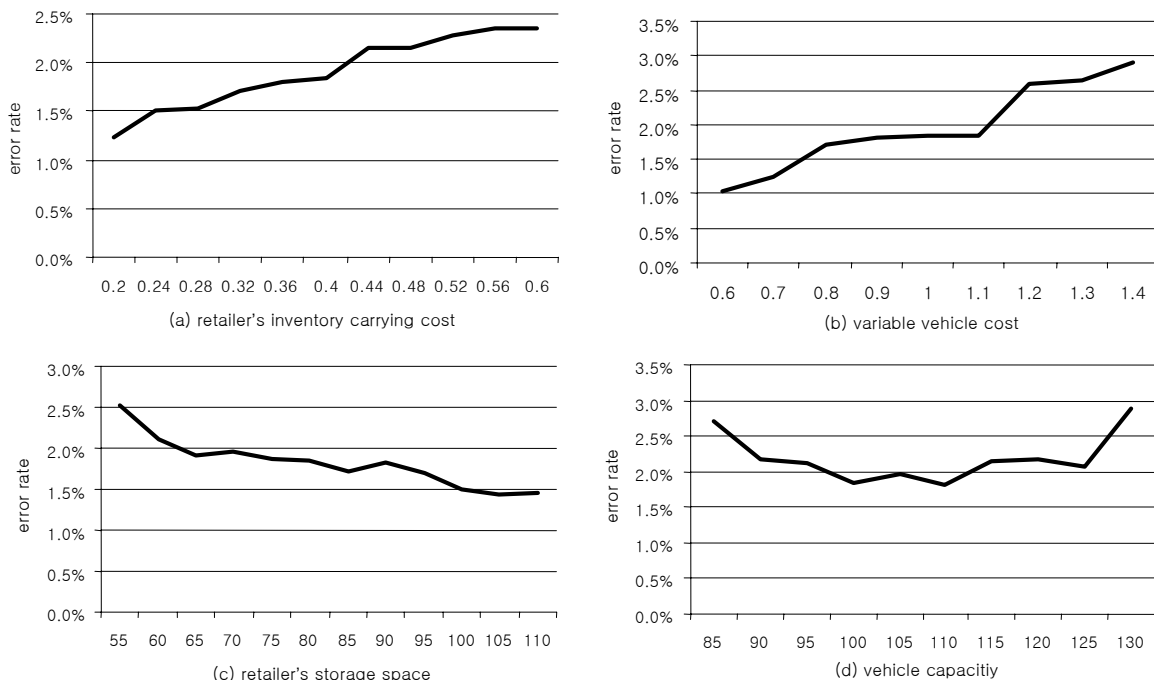


Figure 4. Sensitivity analysis of the GA's error rate on the input cost variables

함에 따라 점차 증가한다. 이러한 현상은 GA가 유전작업 후 보수작업에서 각 소매점 수요의 전기 통합을 적극 도모하여 수리모형의 해 보다 상대적으로 소매점 재고수준을 높게 유지하기 때문인 것으로 보인다. <Figure 4>(b)에서 오차율은 차량 단위 변동비가 증가함에 따라 점차 커진다. 이러한 현상은 GA는 차량경로계획에 최적해가 아닌 근사해를 사용하므로 수리모형과 비교하여 수송비 차이가 점차 커지기 때문인 것으로 보인다. <Figure 4>(c)에서 오차율은 소매점 저장공간 크기가 커짐에 따라 점차 작아진다. 이것은 저장공간이 커짐에 따라 GA가 전기통합 효과를 높일 수 있기 때문이다. 그러나 저장공간이 어느 수준 이상으로 커지면 GA의 전기 통합효과는 더 이상 커지지 않아 오차율 변화가 거의 없다. <Figure 4>(d)에서 오차율은 차량용량이 커짐에 따라 점차 감소하다가 차량용량이 어느 수준 이상으로 커지면 오히려 점차 증가한다. 이러한 현상은 어느 수준의 차량용량까지는 GA의 재고보충 전기 통합이 좋은 해를 생성하는데 효과적이지만, 어느 이상으로 커지면 GA의 과도한 전기 통합이 오히려 해 품질을 저하시키기 때문인 것으로 판단된다.

시스템 운영변수인 소매점 저장공간과 차량용량/대수 크기에 대한 총 이익의 민감도 분석을 실시한 결과가 <Figure 5>에 정리되어 있다. 차량용량/대수 실험의 경우에 일부 문제에서 CPLEX가 수리모형의 해를 구하지 못해 두 가지 분석에서 모두 제안된 GA를 해법으로 사용하였다. <Figure 5>에서 두 그래프는 모두 convex 커브 형태를 보이며, 저장공간은 75, 차량용량/대수는 200대/2대 때 각각 최대의 총이익을 제공함을 알 수 있다.

저장공간의 경우, 크기가 지나치게 작아지면 소매점에서 품질이 크게 증가하여 판매수입이 줄고 공급자 재고유지비와 빈번한 보충으로 인해 수송비가 증가한다. 반대로, 크기가 지나치게 커지면 소매점 저장공간비와 재고유지비가 증가한다. 차량용량/대수의 경우, 차량용량이 작아지면 수송비가 크게 증가한다. 반대로, 용량이 커지고 대수가 작아지면 개점시간 제약으로 인해 단지 소수 소매점의 여러 기 수요를 가급적 용량 한도까지 통합해 배송하게 되어 다른 소매점들에서는 품질이 많이 증가하여 결과적으로 판매수입이 크게 감소한다. 반면

에, 공급자 재고유지비는 크게 감소한다. 이와 같은 결과에 비추어, DIRPV에서 최적의 소매점 저장공간과 차량용량/대수 결정은 공급사슬의 총이익에 지대한 영향을 미치는 중요한 의사결정문제로 고려될 수 있다.

## 5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 단일 공급자와 다수 소매점으로 이루어진 VMI 공급사슬에서 품질에 의한 판매손실과 실제 제약조건이 고려된 총이익 최대화의 동적 재고/차량경로 문제(DIRPV)를 구성하고, 소매점 재고보충과 차량경로를 통합적으로 계획하는 최적 수리모형과 GA 해법을 개발하였다. 소매점과 계획기간 수를 다르게 하여 만든 총 27개의 문제에 대해 최적 수리모형과 GA의 비교실험을 수행한 결과, 제안된 GA는 100세대 진화 후 총이익에 있어 평균 1.95%의 매우 낮은 오차율을 보였다. 모든 문제에서 GA는 100세대 까지 7~47초의 짧은 계산시간을 소요하여, 7~10시간을 소요하는 최적 수리모형과 비교하여 매우 효율적인 것으로 나타났다.

DIRPV의 주요 비용 및 운영변수에 대한 공급사슬의 GA 오차율과 총이익의 변화를 조사하는 민감도 분석을 실시하였다. 실험결과, 소매점 단위 재고유지비나 차량 변동비가 커짐에 따라 오차율이 증가하는 해 품질 저하 현상을 보였다. 그러나 소매점 저장공간 크기가 커짐에 따라 오차율은 감소하였다. 그리고 차량용량이 커짐에 따라 오차율은 점차 감소하다가 차량용량이 어느 수준 이상으로 커지면 오차율은 오히려 증가하였다. 소매점 저장공간(매대) 크기와 차량용량/대수는 총이익에 유의적으로 영향을 미쳤으며, 두 변수에서 각각 총이익을 최대로 하는 값이 존재하였다.

향후 과제로서, 최적 수리모형과의 비교에서 지적된 제안된 GA의 문제점인 불필요한 품질발생과 과도한 통합수송을 줄이고 좀 더 효과적인 차량경로계획 방법을 적용하는 설계 보안을 통하여 좀 더 성능이 좋은 GA 해법 개발이 가능할 것이다. 또한, 공급사슬의 총 이익을 최대화하는 최적의 소매점 저장공간 크기와 차량용량/대수를 결정하는 분석적 방법에 대한

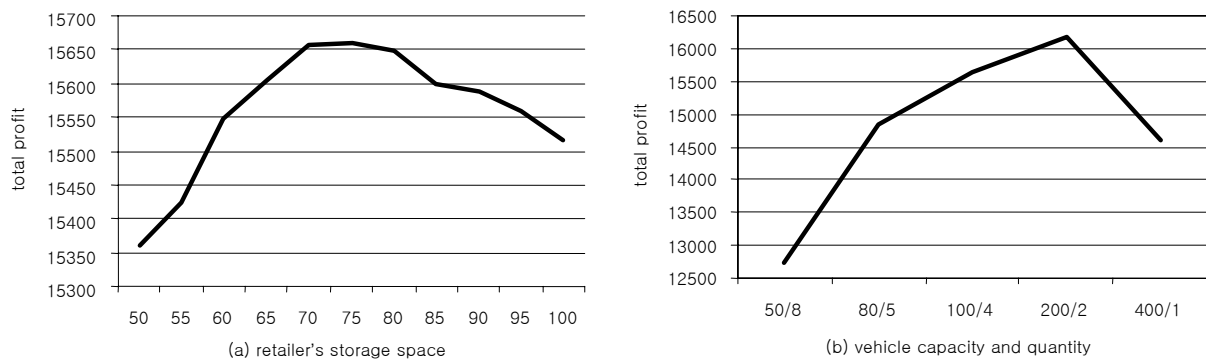


Figure 5. Sensitivity analysis of the total profit on the system operation variables

연구가 가능하다.

## 참고문헌

- Abdelmaguid, T. F. (2004), *Heuristic Approach for the Integrated Inventory Routing Distribution Problem*, Ph. D. dissertation, University of Southern California, Los Angeles.
- Abdelmaguid, T. F. and Dessouky, M. M. (2006), A Genetic Algorithm Approach to the Integrated Inventory-Distribution Problem, *International Journal of Production Research*, **44**(21), 4445-4464.
- Altiparmak, F., Gen, M., Lin, L., and Karaoglan, I. (2007), A Steady-state Genetic Algorithm for Multi-product Supply Chain Network Design, *Computers and Industrial Engineering*, Available online at www.sciencedirect.com.
- Altiparmak, F., Gen, M., Lin, L., and Paksoy, T. (2006), A Genetic Algorithm Approach for Multi-objective Optimization of Supply Chain Networks, *Computers and Industrial Engineering*, **51**, 197-216.
- Bertazzi, L., Paletta, G., and Speranza, M. G. (2005), Minimizing the Total Cost in an Integrated Vendor-managed Inventory System, *Journal of Heuristics*, **11**, 393-419.
- Campbell, A. M. and Savelbergh, M. W. P. (2004), A Decomposition Approach for the Inventory-Routing Problem, *Transportation Science*, **38**(4), 488-502.
- Cetinkaya, S. and Lee, C. Y. (2000), Stock Replenishment and Shipment Scheduling for Vendor-managed Inventory Systems, *Management Science*, **46**(2), 217-232.
- Chan, F. T. S., Chung, S. H., and Wadhwa, S. (2004), A Hybrid Genetic Algorithm for Production and Distribution, *Omega*, **33**, 345-355.
- Chi, H., Ersoy, O. K., Moskowitz, H., and Ward, J. (2007), Modeling and Optimizing a Vendor Managed Replenishment System Using Machine Learning and Genetic Algorithms, *European Journal of Operational Research*, **180**, 174-193.
- Clarke, G. and Wright, J. (1964), Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, *Operations Research*, **12**, 568-581.
- Cordeau, J. F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J. Y., and Semet, F. (2002), A Guide to Vehicle Routing Heuristics, *Journal of the Operational Research Society*, **53**(5), 512-522.
- Disney, S. M. and Towil, D. R. (2003), The Effect of Vendor-managed Inventory Dynamics on Bullwhip Effect in Supply Chains, *International Journal of Production Economics*, **85**(2), 199-215.
- Gen, M. and Syarif, A. (2005), Hybrid Genetic Algorithm for Multi-time Period Production/Distribution Planning, *Computers and Industrial Engineering*, **48**, 799-809.
- Goldberg, D. E. (1989), *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Hong, S. C and Park, Y. B. (2006), A Comparison Study on Retailer-managed and Vendor-managed Inventory Policies in the Retail Supply Chain, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **32**(4), 382-392.
- ILOG CPLEX 9.1 (2005), *User's Manual*, ILOG S. A., France.
- Jarugumilli, S., Grasman, S. E., and Ramakrishnan, S. (2006), A Simulation Framework for Real-time Management and Control of Inventory Routing Decisions, *Proceedings of the 2006 Winter simulation Conference*, 1485-1492.
- Kleywegt, A., Nori, V., and Savelbergh, M. W. P. (2004), Dynamic Programming Approximations for a Stochastic Inventory Routing Problem, *Transportation Science*, **38**(1), 42-70.
- Minitab (2003), *Meet MINITAB Release 14 for Windows*, Minitab, Inc., USA.
- Rusdiansyah, A. and Tsao, D. (2005) An Integrated Model of the Periodic Delivery Problems for Vending-machine Supply Chains, *Journal of Food Engineering*, **70**, 421-434.
- Sim, E. Y. (2005), Operational Factors for Effective VMI System, *e-Logistics*, **48**.
- Syarif, A., Yun, Y., and Gen, M. (2002), Study on a Multi-stage Logistic Chain Network : A Spanning Tree-based Genetic Algorithm Approach, *Computers and Industrial Engineering*, **43**, 299-314.
- Yao, Y., Evers, P. T., and Dresner, M. E. (2007), Supply Chain Integration in Vendor-managed Inventory, *Decision Support Systems*, **43**, 663-674.
- Yokoyama, M. (2002), Integrated Optimization of Inventory-Distribution Systems by Random Local Search and a Genetic Algorithm, *Computers and Industrial Engineering*, **42**, 175-188.