

공급 사슬 확장을 위한 네트워크 재설계에 관한 연구

A Study on Network Redesign for Supply Chain Expansion

송병덕(Byung Duk Song)*, 오용희(Yonghui Oh)**

초 록

시장 상황의 변화에 따라 상품의 효율적인 공급을 위해 기업은 한정된 예산 내에서 공급 사슬을 변화시킬 필요가 있다. 또한, 경쟁의 심화로 공급 사슬 내에서의 비용 절감뿐만 아니라 적절한 공급 사슬의 구성을 통해 상품의 정시 배송 등 고객 만족도를 높이는 것은 점점 더 중요한 요소로 고려되고 있는 추세이다. 본 연구에서는 공급 사슬 확장에 따른 네트워크 재설계 문제를 다루고 있으며 이에 따른 수리 모형을 제안한다. 또한 유전 알고리즘을 이용하여 예산 제한의 변화에 따른 총 가중 거리의 변화를 계산하여 경영진의 의사결정을 도울 수 있는 방법을 모색한다.

ABSTRACT

According to the environment change of market, supply chain network needs to be redesigned for efficient provision of product within the budget constraint. Also, it is desired that the customer satisfaction such as on time delivery should be considered as an important element at redesigning of supply chain network in addition to the cost reduction. In this paper redesign of supply chain network for its expansion is treated as a problem situation and a related mathematical model is suggested. Moreover, the numerical examples about the total weighted distance of the redesigned supply chain network are presented with various budget constraints by using genetic algorithm to help the managerial decision.

키워드 : 공급 사슬관리, 공급 사슬 재설계, 유전 알고리즘, 근접 할당
SCM, Supply Chain Redesign, Genetic Algorithm, Closest Assignment

이 논문은 2012학년도 대진대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

* Department of Industrial and Systems Engineering, KAIST

** Corresponding Author, Daejin University, Department of Industrial Management Engineering
(E-mail : oryong@daejin.ac.kr)

2012년 11월 16일 접수, 2012년 11월 21일 심사완료 후 2012년 11월 23일 게재확정.

1. 서 론

공급 사슬 관리는 지난 이십여 년간 기업 거래 및 운영에서 중요한 연구 주제 중 하나로 떠오르고 있다. 공급 사슬이란 원재료부터 시작하여 완제품의 최종 소비에 이르는 전체 네트워크를 하나의 체계로 간주하는 것으로 원자재 및 반제품을 제공하는 협력 업체 및 거래선과 서로 연결된 부분을 포함한 전체 시스템을 말하며, 공급 사슬 관리란 원재료 공급업체에서 출발하여 최종 소비자에게까지 제품이 전달되는 모든 과정을 하나의 통합된 개체로 보고 이를 최적화하고자 하는 기업의 전략적 경영방식을 의미한다. 이러한 SCM의 개념은 1980년대 초반의 JIT 개념을 확대 적용한 VMI(vendor managed inventory)개념과 QR(quick response)을 기반으로 하는 ECR(efficient consumer response)을 종합적으로 실현하는 전략적인 경영기법이라고 할 수 있다.

기업을 둘러싸고 있는 시장의 상황이나 경쟁기업의 전략, 여러 가지 제도 및 국제 정세는 끊임없이 변화하고 있으며 이러한 변화에 능동적으로 대처하고 적응하는 것이 생존을 위한 기본 전략이며 나아가 시장점유를 높여 이익을 증대시킬 수 있는 방법이다. 특히 공급 사슬 관리 측면에서는 시장 수요의 변화에 대응하기 위해서 수시로 공급 사슬을 축소 또는 확장하여 공급 사슬을 재설계하는 과정이 필수적이라 할 수 있겠다. 이러한 과정은 기업의 구성요소 일부에서 이루어지는 것이 아니라 공급 사슬 전체를 동시에 재설계해야 하며 공급 사슬 재설계는 기업을 변화, 발전시키기 위한 중요한 문제 중 하나로

대두되고 있다.

공급 사슬 다시 설계해야 하는 경우는 1) 기존의 공급 사슬의 효율을 높이기 위해 2) 늘어나거나 줄어드는 수요에 효율적으로 대응하기 위한 생산량이나 공급량의 변화에 따른 재설계 3) 해외 생산 공장 또는 해외시장 진출 등을 위한 공급 사슬 재설계 등이 있다.

공급 사슬 재설계의 궁극적인 목표는 기업 이익을 최대화하는 것으로, 운송 거리나 비용, 정시 배송 수준 등 기업이 현재 처한 상황에 맞는 목표를 설정하여 그에 따른 공급 사슬을 구성함으로써 기업의 생존력이나 경쟁력을 제고 할 수 있는 여러 가지 연구가 진행되어 왔다.

현재 A사는 해당 산업의 호황으로 수요가 급증하고 있으며, 이에 따라 회사는 현재 운영하고 있는 2개의 공장 외에 추가로 1개의 공장을 신설할 필요가 있다고 판단했다. 따라서 신규 공장을 설립하고 이에 따라 현행 유지되고 있는 물류센터 구조에 변화를 줌으로써 운송 거리를 줄이고 정시 배송 수준을 높이기 위해 공급 사슬을 재설계하고자 한다. 투자 가능한 금액이 제한적이므로 경영상의 판단을 위해 투자비용 대비 운송 거리 및 정시 배송 수준의 증감을 예측할 필요가 있어 본 연구를 수행하게 되었다.

본 연구를 달성하기 위하여 공급 사슬을 재설계하기 위한 수리 모형이 제시되었으며, 재설계된 공급 사슬을 통하여 제품의 정시 배달 수준을 높이고자 각각의 물류창고(소비자)는 운영 중인 공장(물류창고) 중 가장 가까운 곳으로부터 제품을 공급받도록 근접 할당 규칙 및 총 가중 거리를 최소화 시키는 목적함수가 적용되었다. 마지막으로, 제시된 모

형의 최적해 또는 근접해를 찾기 위하여 유전 알고리즘이 개발되었다. 이러한 연구는 새로운 경영 환경에 대비하여 기업의 경쟁력을 제고하기 위한 경영적 전략의 이론적 뒷받침 및 해법을 제시할 것으로 기대된다. 또한 기존의 공급 사슬 재설계 연구에서는 다루어 보지 않았던 근접 할당 제약식을 적용시킴으로써 공급 사슬 재설계 연구의 다변화에도 기여할 것으로 기대된다.

본 연구는 다음과 같이 구성되어 있다. 제 2장에서는 위치 선정 문제 및 공급 사슬 재설계 문제에 대한 기존 연구들을 소개하고, 본 연구의 차별성을 다루어 본다. 제 3장에서는 수리 모형이 제시될 것이며, 제 4장에서는 수리 모형의 최적해 혹은 근접해를 찾기 위한 유전 알고리즘이 설명된다. A회사의 공급 사슬 재설계 결과가 제 5장에서 제시될 것이며, 마지막으로 제 6장에서는 본 연구에 대한 결론 및 추후 관련 연구 주제에 대하여 다루어 보도록 한다.

2. 기존 연구

수십 년 동안 연구되어 온 위치선정 및 할당 문제는 현재에도 공급 사슬 확장 및 재설계에 있어 여전히 중요한 화두이다. 특히 Owen and Daskin[7]의 논문에서는 위치선정 및 할당 문제의 세부적 분류 및 관련 연구를 폭넓게 다루고 있다. 이전의 주된 연구 방향을 살펴보면, 기존에 설립되어 있는 시설은 위치 선정 및 할당 문제에 관한 연구에 있어 비중 있는 고려 요소가 아니었다. 즉, 수요를 효율적으로 달성하기 위해 새로운 시설의 설

립만을 고려하며, 이미 설립되어 현재에도 활용되고 있는 시설의 위치 및 기능은 배제하였다. 위와 같은 연구는 시설의 용량 제한 여부에 따라 두 가지 흐름으로 분류할 수 있다. Erlenkotter[2]은 선형계획법에 따라 시설의 위치 선정에 있어 용량 제한이 없는 연구를 발표하였다. 위 연구에서는 adjustment 방법과 ascent 방법을 통해 공장에서 고객으로의 운송비용 및 공장의 고정비용을 최소화하였다. 이처럼 용량 제한이 없는 시설의 위치 선정 및 할당 연구는 Harris, Mumford 그리고 Naim[3]에 의해 제안되었으며, 이는 비용, 환경적 영향, 충족시키지 못하는 수요의 최소화를 목표로 다목적함수를 활용하여 이루어진 결과였다. Kim and Kim[4]은 노인성 질환자를 위한 용량 제한이 없는 장기 요양시설의 선정 및 환자 할당에 대한 연구에서 목적함수를 통해 각 요양시설에 할당되는 환자수의 최대 인원을 최소화시킴으로써 용량 제한이 없는 연구의 한계성을 극복하고자 하였다.

용량 제한이 있는 시설의 위치 선정 및 할당에 관한 연구는 다음의 연구로 대표된다. 공장에서 고객으로의 운송비용 및 고정비용을 최소화시키기 위한 용량 제한이 있는 창고의 위치 선정 및 할당에 대한 연구를 Akinc and Khumawala[1]이 진행하여 그 해법으로 Branch and bound algorithm를 제안하였다. Pirkul and Jayaraman[8]은 공장과 창고, 고객으로 이루어지는 공급 사슬환경에서의 용량 제한이 있는 공장과 창고의 위치 선정 및 공장에서 창고, 창고에서 고객으로 연결되는 물동량을 산출하기 위한 수학적 모형 및 발견적 해법을 제시하였다. Zhu, chu and Sun[9]은 공급자, 공장, 고객간 운송비용

및 공장 설립 비용의 최소화를 위해 용량 제한이 있는 공장의 위치선정을 통한 공급 사슬을 제시하였다.

기존의 시설이 있더라도, 같은 기능을 제공하지 않는 경우 이러한 연구는 적절한 공급 사슬을 제시할 수 있을 것이다. 그러나 같은 기능을 담당하거나 이를 포함하는 기존 시설이 있을 경우, 이를 고려해 공급 사슬을 재설계할 때 자원(기존의 시설)과 공급 사슬의 효율을 보다 높게 달성할 수 있을 것이다.

이와 같이 기존 시설을 고려한 공급 사슬의 설계에 대한 연구는 몇몇 연구자들에 의해 진행된 바 있다. Melachrinoudis and Min[5]은 고려대상을 위치 특성, 교통 접근성, 비용, 삶의 질, 시장 기회, 지역적 우대정책 등으로 하여 경영 환경의 역동적 변화에 대응하기 위한 제조/물류 혼합 시설의 재배치에 대한 사례 연구를 발표하며, 이를 위해 Analytic Hierarchy Process(AHP)의 적용을 제시하였다. Melachrinoudis and Min[6]은 Melachrinoudis and Min[5]의 연구를 이론적으로 발전시켜 기존의 연구에 대한 수학적 모형과 상업적 소프트웨어 LINGO를 이용한 해법을 제시하였다. Wang et al.[10]은 제한적 예산 내에서 기존 시설 폐쇄와 새로운 시설 설립을 모두 고려하는 연구를 제시하였다. 위 연구에서는 시설의 용량 제한 여부와는 상관없이, 기존의 시설을 유지하거나 새로 함으로써 주어진 수요를 만족시키고자 하였다. 또한 Tang et al. [11]은 기존 시설의 폐쇄, 확장 및 새로운 시설의 설립을 통한 공급자, 물류시설, 고객으로의 공급 사슬을 재설계 하는데 있어서 물류 시설의 용량을 고려하였다. 확장비용, 설립 비용, 운송비용 등의 총 비용을 최소화

목적함수로 설정하고, 공급자에서 고객까지의 물동량을 알 수 있도록 했다.

본 연구에서는 공장, 물류센터, 소비자로 이어지는 기업의 공급 사슬에서 제한된 예산 하에서 총 가중 운송 거리를 최소화하기 위한 수학적 모형을 제시하였다. 기존의 물류센터에 대해서는 1) 폐쇄하거나 2) 그대로 사용되거나 3) 용량을 확충하는 것 중 하나의 대안을 고려하였으며 잠재적인 후보지에 새로운 물류센터를 신설하는 것 또한 고려하였다. 목적함수로 사용된 총 가중 이동거리는 운송비용을 최소화 하는 동시에 내부적으로 각 물류센터(소비자)는 가장 가까운 공장(물류센터) 으로부터 제품을 받도록 근접 할당 개념을 도입하여 고객 만족도 (정시 배송 수준)을 반영할 수 있도록 하였다. 즉, 물류센터는 가장 가까운 공장 으로부터 필요한 제품의 전량을 공급받도록 하고 소비자는 가장 가까운 물류센터로부터 모든 수요를 충족시킬 수 있도록 하여 공장에서 소비자에게 물건이 전달되는 데 걸리는 시간을 최소화함으로써 고객 만족도를 최대화 할 수 있도록 하였다. 또한 이에 따른 공장에서 물류센터, 물류센터에서 소비자로 이어지는 공급 사슬의 물동량 또한 결정변수로 다루었다.

3. 수학적 모델링

3.1 가정

- 1) 각 물류센터는 하나의 공장에서만 물량을 공급받는다(단일 할당).

- 2) 각 소비자는 하나의 물류센터에서만 물량을 공급받는다(단일 할당).
- 3) 정시 배달 수준을 높이기 위하여 각 물류센터(소비자)는 운영되는 공장(물류센터) 중 가장 가까운 곳에서 물량을 공급받게 된다.
- 4) 확장이 결정된 물류센터와 신설이 결정된 물류센터는 C 의 용량을 가지게 되며, C 는 현재 운영하고 있는 물류센터의 최대 용량보다 같거나 크다.
- 5) 공급 사슬 확장 및 물류센터 증축에 투자된 총 금액은 재설계 프로젝트의 예산을 초과할 수 없다.

3.2 결정변수 및 모수

I : 공장의 집합

E : 현재 운영하고 있는 물류센터의 집합

N : 물류센터를 신설할 수 있는 후보지의 집합,

$$E \cap N = \phi$$

J : 물류센터 위치의 집합, $E \cup N = J$

K : 소비자의 집합

d_{ij} : 공장 $i \in I$ 에서 물류센터 $j \in J$ 까지의 거리

d_{jk} : 물류센터 $j \in J$ 에서 소비자 $k \in K$ 까지의 거리

p_i : 공장 $i \in I$ 의 생산 용량

a_k : 소비자 $k \in K$ 의 연간 수요량

C_j^b : 물류센터, $j \in E$ 의 재설계 전 용량

C : 증축될 물류센터와 새로 설립될 물류센터의 용량, $C \geq \max \{C_j^b | j \in E\}$

w_{ij} : 공장 $i \in I$ 로부터 물류센터 $j \in J$ 로의 이동 거리의 가중치

w_{jk} : 물류센터 $j \in J$ 로부터 물류센터 소비자 $k \in K$ 로의 이동 거리의 가중치

b_j : 회사가 현재 $j \in E$ 위치에 있는 물류센터를 용량 변화 없이 현재 용량을 유지하기로 결정했을 때 드는 비용

c_j : 회사가 현재 $j \in E$ 위치에 있는 물류센터의 용량을 증축하기로 결정했을 때 드는 비용.

d_j : 회사가 현재 $j \in E$ 위치에 있는 물류센터를 폐쇄하기로 결정했을 때 드는 비용.

e_j : 회사가 $j \in N$ 위치에 새로운 물류센터를 신설하기로 결정했을 때 드는 비용.

B : 사용 가능한 총 예산

C_j^a : 정수(결정변수), 공급 사슬 재설계 이후 물류센터 $j \in J$ 의 용량. 결정변수와 제약식에 의해 자동으로 결정됨.

f_j : 이진변수(결정변수), 현재 물류센터 $j \in E$ 가 증축 없이 유지될 경우 1의 값을 가짐

g_j : 이진변수(결정변수), 현재 물류센터 $j \in E$ 를 증축하기로 결정되면 1의 값을 가짐.

h_j : 이진변수(결정변수), 현재 물류센터 $j \in E$ 를 폐쇄하기로 결정하면 1의 값을 가짐

y_j : 이진변수(결정변수), 새로운 물류센터를 $j \in N$ 위치에 개설하기로 하면 1의 값을 가짐.

x_{ij} : 이진변수(결정변수), 물류센터 $j \in J$ 가 공장 $i \in I$ 로부터 제품을 공급받으면 1의 값을 가짐.

x_{jk} : 이진변수(결정변수), 소비자 $k \in K$ 가 물류센터 $j \in J$ 로부터 제품을 공급받으면 1의 값을 가짐.

z_{ij} : 정수(결정변수), 공장 $i \in I$ 로부터 물류센터 $j \in J$ 까지 물동량.

z_{jk} : 정수(결정변수), 물류센터 $j \in J$ 로부터 소비자 $k \in K$ 까지 물동량.

3.3 수리모형

전체 공급 사슬 내에서의 운송비용을 최소화 하고, 이를 바탕으로 고객 만족도(정시 배송 수준)을 극대화하기 위해서, 본 연구에서는 공장 i 에서 물류센터 j 그리고 물류센터 j 에서 소비자 k 까지의 가중치가 고려된 운송 거리의 총 합 최소화를 목적으로 하는 수리모형을 개발하였다.

목적식은 가중치가 고려된 총 거리를 최소화하는 것으로 가중치가 고려된 총거리가 최소화되면 정시 배송 수준을 높이고 총 운송비용을 줄일 수 있기 때문이다. 제약식 (2)는 현재 운영되는 물류센터에 대해서 현행유지, 증축 또는 폐쇄 중 한 가지 의사결정만을 내리도록 유도하는 제약식이다. 공급 사슬 재설계 이후 각 물류센터의 용량은 제약식 (3)과 제약식 (4)에 의해 결정된다. 제약식 (3)은 현재 운영되고 있는 물류센터에 관한 것이고 제약식 (4)는 신설될 물류센터에 관한 것이다. 제약식 (5)와 식 (6)을 통해 가정 3에서 정한 바와 같이 각 물류센터(고객)는 할당 가능한 공장(물류센터) 중 가장 가까운 곳에 할당되게 된다. 단일 할당에 관한 가정 1과 가정 2는 제약식 (7)과 제약식 (8)을 통해 실현되며, 제약식 (9)~제약식 (12)는 물류센터가 있는 곳에만 물량이 할당될 수 있는데 물량을 할당 가능한 경우는 현재 운영하는 물류센터를 용량 변화 없이 그대로 유지하는 경우와 현재 물류센터를 증축하는 경우, 물류센터의 후보지에 새 물류센터를 짓는 세 가지 경우이다. 제약식 (13)~제약식 (15)는 운송량 결정과 관련된 제약식으로, 제약식 (13)은 공장 $i \in I$ 에서 운반되어 나가는 총 제품의 양

은 공장 i 의 용량을 초과할 수 없다는 제약식이고, 제약식 (14)는 각 물류센터에 입고되는 제품의 총량과 각 물류센터에서 출고되는 제품의 총량이 같아야 한다는 제약식이며, 제약식 (15)는 각 소비자의 수요가 만족되어야 한다는 제약식이다. 제약식 (16)은 공급 사슬 재설계 이후 각 물류센터의 용량 제약이고 마지막으로 제약식 (17)은 공급 사슬 재설계에 들어간 비용은 총 예산의 범위를 초과할 수 없다는 제약식이 된다.

$$\text{Minimize } \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} w_{ij} d_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} w_{jk} d_{jk} x_{jk} \quad (1)$$

$$\text{Subject to } f_j + g_j + h_j = 1 \quad \forall j \in E \quad (2)$$

$$C_j^b f_j (1 - h_j) + C_j g_j = C_j^a \quad \forall j \in E \quad (3)$$

$$C_j y_j = C_j^a \quad \forall j \in N \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} w_{jk} d_{jk} x_{jk} \leq w_{ij} d_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (5)$$

$$\sum_k^k w_{jk} d_{jk} x_{jk} \leq w_{jk} d_{jk} + M(1 - f_j - g_j) \quad \forall j \in E, k \in K \quad (6)$$

$$\sum_k^k w_{jk} d_{jk} x_{jk} \leq w_{jk} d_{jk} + M(1 - y_j) \quad \forall j \in N, k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (8)$$

$$\sum_{j \in J} x_{jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (9)$$

$$x_{ij} \leq f_j + g_j \quad \forall i \in I, j \in E \quad (10)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i \in I, j \in N \quad (11)$$

$$x_{jk} \leq f_j + g_j \quad \forall k \in K, j \in E \quad (12)$$

$$x_{jk} \leq y_j \quad \forall k \in K, j \in N \quad (13)$$

$$\sum_{j \in J} z_{ij} x_{ij} \leq p \quad \forall i \in I \quad (14)$$

$$\sum_{j \in J} z_{jk} x_{jk} = a_k \quad \forall k \in K \quad (15)$$

$$\sum_{i \in I} z_{ij} x_{ij} - \sum_{k \in K} z_{jk} x_{jk} = 0 \quad \forall j \in J \quad (16)$$

$$\sum_{i \in I} z_{ij} x_{ij} \leq C_j^a \quad \forall j \in J \quad (17)$$

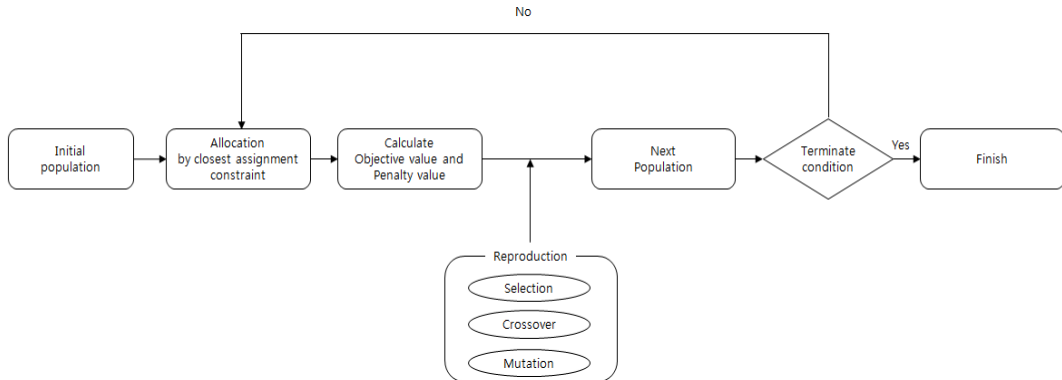
$$\sum_{j \in J} b_j f_j + c_j g_j + d_j h_j + e_j y_j \leq B \quad \forall j \in J \quad (18)$$

$$f_j, g_j, h_j, y_j, x_{ij}, x_{jk} \in \{0, 1\}$$

$$z_{ij}, z_{jk} : \text{integer}$$

4. 해법 과정

본 연구에서는 제안된 문제를 풀기 위해 유전 알고리즘이 적용되었다. 유전 알고리즘은 Holland[12]에 의해 처음 소개되었으며, 이후 위치 선정 문제에서 최적해 또는 근사해를 찾기 위한 방법으로 널리 사용되는 알고리즘이다. 유전 알고리즘의 위치 선정 문제의 적용에 대한 더욱 자세한 연구는 Jaramillo et al.[13]의 연구에서 확인해 볼 수 있다. 유전 알고리즘의 전반적인 절차는 다음과 같다. 초기모집단은 임의로 생성이 되며, 이들은 기존의 창고에 대한 3가지의 의사 결정 및 새로운 지역에 창고 설립 여부에 대한 정보를 담고 있다(제 4.1절 염색체 구조 참고). 이후 염색체의 정보를 바탕으로 제약식 (5)와 제약식 (6)에 근거하여 각각의 물류 창고 (고객)은 가장 가까운 공장 (물류창고)로 할당이 된다. 할당 후에는 각 염색체의 적응도가 평가되며(제 4.3절 참고), 적응도 값에 의하여 다음 세대를 위한 두 개의 염색체가 부모로써 선별된다. 이 두 부모 염색체로부터 교차와 돌연변이의 과정을 거쳐



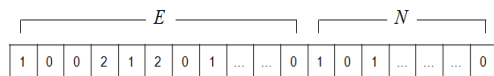
〈Figure 1〉 Flow Diagram of Genetic Algorithm

두 개의 자손 염색체가 생성되며, 위 과정을 반복적으로 수행하여 다음 세대의 모집단을 생성한다. 새로 생성된 모집단에서도 같은 과정이 반복되며, 종료 조건 (본 연구에서는 반복 횟수) 이 만족되면 유전 알고리즘은 종료된다.

제안된 유전 알고리즘의 전반적인 절차는 다음 <Figure 1>과 같다

4.1 염색체 구조

본 연구에서 제안된 염색체는 각 물류센터 $j \in J$ 를 의미하는 것으로 그 구조는 다음 <Figure 2>와 같다.



<Figure 2> Structure of Chromosome

염색체는 $|J|$ 개의 요소로 구성되어 있다. 염색체의 첫 번째 부분은 기존에 존재하는 $j \in E$ 지역 창고들에 대한 의사 결정이다. 각각의 유전자는 3가지의 정수 값을 가질 수 있으며, 유전자 값 '0'은 기존 창고가 폐쇄될 것임을 의미한다. 마찬가지로 유전자 값 '1'은 기존 창고가 그대로 사용될 것, 유전자 값 '2'는 기존 창고가 확장될 것임을 의미한다.

염색체의 두 번째 부분은 물류 창고가 새로 설립될 후보지인 $j \in N$ 지역에 대한 의사 결정이다. 마찬가지로 각각의 유전자는 2가지의 정수 값을 가질 수 있으며, 유전자 값 '0'은 새로운 물류 창고가 설립되지 않을 것, 유전자 값 '1'은 새로운 창고가 설립될 것을 의미한다.

4.2 할당

할당은 각각의 염색체가 지니고 있는 위치 선정 정보와 제약식 (5), 제약식 (6)의 근접 할당 규칙에 의하여 이루어진다. 챕터 4.1에서 보았듯이, 제안된 유전 알고리즘의 염색체는 기존 창고 및 새로운 창고에 대한 의사 결정을 담고 있다. 이러한 위치 선정 정보를 바탕으로 각각의 물류 창고 (고객)은 가장 가까운 곳에 위치한 공장 (물류창고)로 할당된다. 이러한 할당 방법은 물류 창고 또는 고객으로의 배송시간을 줄여 정식 배송 수준을 높임으로써 고객만족도 향상에 기여 가능하다.

4.3 적합도 함수

적합도 평가는 각 염색체의 목적함수 값 및 제약 사항의 위반 여부를 평가하기 위해 이루어진다. 효과적인 적합도 함수는 유전 알고리즘으로 하여금 좋은 솔루션을 효율적으로 찾을 수 있도록 도와준다. 본 연구에서 제안된 적합도 함수는 크게 두 부분, 즉 목적함수 값과 제약조건의 위반으로 인한 벌칙값으로 구성되어 있다. 이 적합도 함수는 목적함수 값이 적고 실현 가능한 해답을 가려냄으로써 제안된 유전 알고리즘의 수렴성을 향상시킬 수 있다.

제약조건의 위반으로 인한 벌칙값은 다음과 같은 경우에 발생한다.

- 1) 물류창고 : 할당된 고객의 수요가 물류창고의 용량을 초과할 경우
- 2) 물류창고 : 고객이 할당되지 않은 물류창고가 존재할 경우

- 3) 공장 : 할당된 물류창고들의 수요가 공장의 용량을 초과할 경우
 4) 예산 : 총 비용이 제한된 예산을 초과할 경우

1, 3 그리고 4번의 경우는 실현 가능하지 않은 해법에 벌칙값을 줌으로써 실현 가능하지 않은 해법들을 유전 알고리즘의 진화 과정에서 퇴화시킨다. 2번 벌칙값은 설립비용 관련 항목이 목적함수에 없는 본 연구에서, 불필요한 물류창고의 설립을 방지하여 예산의 효율적으로 활용할 수 있다.

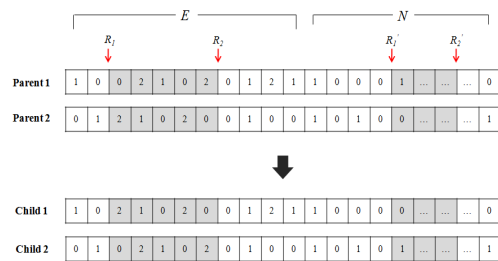
4.4 선별

유전 알고리즘에서 선별은 다음 세대 자손 염색체를 생성하기 위한 두 개의 부모 염색체를 고르는 과정이다. 목적함수 및 실현 가능성에 기여도가 큰 염색체를 부모로 고를 경우 좋은 자손 염색체가 생성될 수 있으며, 그러한 부모 염색체를 선별하기 위하여 확률 바퀴 방법이 제안된 유전 알고리즘에 적용되었다. 본 문제는 최소화 문제이므로, 작은 적합도 값을 가지는 염색체가 부모로 선정될 높은 확률을 가지는 것이 바람직하다. 따라서 각 염색체의 적합도 값에서 최대 적합도를 가지는 염색체의 값을 제하여 준 후, 그 제곱 값을 취해 줌으로써 가장 작은 적합도 값을 가지는 염색체가 가장 큰 선별 확률을 가지도록 하였다.

4.5 교차

확률바퀴 방법에 의해 선정된 두 부모 염

색체로부터 두 개의 자손 염색체가 교차 과정을 통해 생성된다. 본 연구에서는 이점 교차법이 사용되었다. 먼저 염색체의 첫 번째 부분, 즉 $j \in E$ 인 부분에 대한 교차가 수행된다. $[1, |E|]$ 사이에서 두 개의 정수가 임의로 생성되며, 이를 R1과 R2라 하자. 두 부모 염색체는 R1과 R2 사이의 유전자 값을 교환함으로써 자손 염색체의 첫 부분을 생성시킨다. 염색체의 두 번째 부분, 즉 $j \in N$ 인 부분에 대해서도 $[|E|, |N|]$ 사이의 두 정수가 임의로 생성되며, 같은 과정을 거쳐 두 개의 자손 염색체가 완성된다(<Figure 3> 참조).

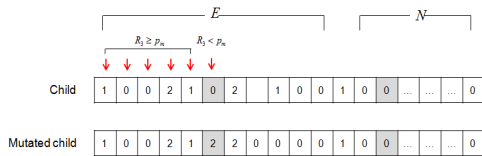


<Figure 3> Example of Two Point Crossover

4.6 돌연변이

돌연변이 과정은 확률적으로 유전자의 값을 변화시킴으로써 다양한 해법 공간을 탐색할 수 있도록 도와준다. 제안된 유전 알고리즘에서는 각 유전자에서 임의 확률 R3가 생성되어, 기존에 정해진 돌연변이 허용 확률 (pM)보다 작을 경우 돌연변이가 일어난다. 염색체의 첫 번째 부분, 즉 $j \in E$ 인 부분에 대해서는 $[0, 2]$ 사이의 정수가 임의적으로 생성되어 기존의 값을 대체하게 되며, 염색체의 두 번째 부분, 즉 $j \in N$ 인 부분에서는 $[0, 1]$

사이의 정수가 임의적으로 생성되어 기존의 값을 대체하게 된다(<Figure 4> 참조).



<Figure 4> Example of Mutation

5. 적용 사례

A회사는 2개의 생산 공장과 17개의 다양한 사이즈의 물류창고를 운영 중에 있으며, 25개의 고객에게 상품을 공급한다. 하지만 수요 예측의 결과 늘어날 것으로 예상되는 수요를 충족하기 위하여 현재 운영 중인 2개의 공장 외에 하나의 공장을 추가로 증설하기로 결정하였다. 추가적으로 증설하는 공장의 위치를 고려하여 A회사는 공급 사슬을 재설계하기로 결정하였다. 이를 위한 필수 과정으로 현재 공장 및 고객의 수에 비해 상대적으로 많은 물류창고를 통폐합 하고자 한다. 현재

운영 중인 17개의 물류창고는 폐쇄, 그대로 사용 혹은 확장을 하며, 15개의 새로운 물류창고 후보지에 대해서는 물류창고의 설립 여부를 결정함으로써 회사의 공급 사슬을 제한된 예산 내에서 효율적으로 재설계 하고자 한다.

A회사의 공급 사슬 재설계를 위하여 제안된 수리 모형이 적용되었으며, 모집단의 수 300, 세대수 1000, 70%의 교차확률과 3%의 돌연변이 확률이 적용된 유전 알고리즘의 결과는 다음과 같다.

<Table 1>은 다양한 예산 하에서 공급 사슬을 재설계 한 결과를 보여준다. 새로운 공장의 설립과 함께 공급 사슬을 재설계함으로써 총 가중 이동 거리는 기존의 총 가중 이동 거리에 비해 50% 줄어들었다. 또한 예산을 증가할수록 더욱 많은 비용이 투자됨으로써 총 가중 이동 거리가 줄어드는 것을 볼 수 있다. 따라서 재설계 된 공급 사슬은 고객에게 상품을 더욱 안정적으로 배달함으로써 정시 배송 수준 및 고객 만족을 향상시켜 줄 것이다. 하지만, 투자비용의 증가에 따른 총 가중 이동 거리의 향상률은 크지 않으므로, 공급

<Table 1> Computational Results with Budget Constraint

Budget	Investment Cost	Total weighted distance before redesigning			Total weighted distance after redesigning			Improvement
		Plant → warehouse	warehouse → Customer	Total	Plant → warehouse	warehouse → Customer	Total	
2000	1928	7046	10259	17305	2174	5599	7773	55.1%
2250	2122				2157	5556	7713	55.4%
2500	2477				2213	5402	7615	56.0%
2750	2572				2431	5180	7611	56.0%
3000	2717				2274	5203	7477	56.8%
3250	2823				2274	5194	7468	56.8%

사슬의 재설계를 위한 투자금액의 산정은 추가적인 내부적 경영 요소가 고려되어야 할 것이다.

6. 결 론

본 연구에서는 끊임없이 변화하는 경영 환경에 적응하기 위한 필수 요소 중 하나로 기업 공급 사슬의 재설계에 대한 최적화 모형을 제시하였다. 비선형 수리 모델이 제시됨으로써 제한된 예산 하에서 기존의 물류창고에 대한 폐쇄, 그대로 사용 혹은 확장 및 새로운 물류 창고 후보지에 대한 물류 창고 설립의 경영적 전략 결정을 지원하였다. 비선형 수리 모델의 해를 찾기 위해 유전 알고리즘이 제안되었으며, 예제 문제를 통하여 수리 모형 및 제안된 유전 알고리즘의 효용성을 증명하였다.

사용 가능한 예산의 수준에 따라 현재 운영되고 있는 공급 사슬 상황에서의 총 가중 이동 거리가 줄어드는 정도를 예측하여 운송 비용 및 납기율의 변화를 좀 더 쉽게 예측할 수 있도록 하였으며, 예산 투자의 증가에 따른 총 가중 이동거리의 변화는 급격하지 않으므로, 현재 상황에서는 가급적 최소한의 투자를 하도록 하는 것이 바람직하다는 경영진의 결론을 도출해 낼 수 있었다.

본 연구는 A사가 처한 긍정적인 환경뿐만 아니라 경영 환경이 낙관적이지 않은 상황에서도 효과적으로 적용될 수 있다. 경제위기 상황에서는 수요의 감소에 의한 공장의 폐쇄, 기존 물류 창고들의 폐쇄 및 통합 등을 통해서 새로운 경영 환경을 효율적으로 지원할

수 있는 공급 사슬 체계를 재설계 할 수 있을 것이다. 또한 향후 물류센터나 소비자가 각각 하나의 공장이나 물류센터로부터 전량 공급 받아야 한다는 제약조건이 없이 여러 개의 공급지로부터 나누어 공급받을 수 있는 상황으로 확장하여 문제를 해결할 수 있을 것이라 판단된다. 아울러 현재의 확정적 모형에서 확률적인 수요나 가중치를 가지는 좀 더 현실적인 연구 등 많은 연구가 진행될 수 있을 것이라 생각된다.

References

- [1] Akinc, U. and Khumawala, B. M., "An Efficient Branch and Bound Algorithm for the Capacitated Warehouse Location Problem," *Management Science*, Vol. 23, No. 6, pp. 585-594, 1977.
- [2] Erlenkotter, D., "A Dual Based Procedure for Uncapacitated Facility Location," *Operations Research*, Vol. 26, No. 6, pp. 992-1009, 1978.
- [3] Harris, I., Mumford, C., and Naim, M., "The multi objective uncapacitated facility location problem for green logistics," *CEC 09. IEEE Congress on Evolutionary Computation*, pp. 2732-2739, 2009.
- [4] Kim, D. G. and Kim, Y. D., "A branch and bound algorithm for determining locations of long-term care facilities," *European Journal of Operational Research*, Vol. 206, No. 1, pp. 168-177, 2010.

- [5] Melachrinoudis, E. and Min, H., "The dynamic relocation and phase-out of a hybrid, two echelon plant/warehousing facility : a multiple objective approach," *European Journal of Operational Research*, Vol. 123, No. 1, pp. 1-15, 2000.
- [6] Min, H. and Melachrinoudis, E., "The relocation of a hybrid manufacturing/distribution facility from supply chain perspectives : a case study," *Omega. The International Journal of Management Science*, Vol. 27, No. 1, pp. 75-85, 1999.
- [7] Owen, S. H. and Daskin, M. S., "Strategic facility location : A review," *European Journal of Operational Research*, Vol. 111, No. 3, pp. 423-447, 1998.
- [8] Pirkul, H. and Jayaraman, V., "A multi-commodity, multi plant, capacitated facility location problem : formulation and efficient heuristic solution," *Computers and Operations Research*, Vol. 25, No. 10, pp. 869-878, 1998.
- [9] Zhu, Z., Chu, F., and Su, L., "The capacitated plant location problem with customers and suppliers matching," *Transportation Research Part E : Logistics and Transportation Review*, Vol. 46, No. 3, pp. 469-480, 2010.
- [10] Wang, Q., Batta, R., Bhadury, J., and Rump, C. M., "Budget constrained location problem with opening and closing facilities," *Computers and Operations Research*, Vol. 30, No. 13, pp. 2047-2069, 2003.
- [11] Tang, L., Jiang, W., and Saharidis, G. K. D., "An improved Benders decomposition algorithm for the logistics facility location problem with capacity expansions," *Annals of Operations Research*, DOI 10.1007/s10479-011-1050-9, 2012.
- [12] Holland, J. H., *Adaptation in natural and artificial systems*, Michigan : University of Michigan Press, 1975.
- [13] Jaramillo, J. H., Bhadury, J., and Batta, R., "On the use of genetic algorithms to solve location problems," *Computers and Operations Research*, Vol. 29, No. 6, pp. 761-779, 2002.

저 자 소 개



송병덕

2003년

2009년

2011년~현재

관심분야

(E-mail : bdsong@kaist.ac.kr)

고려대학교 산업 및 시스템 공학과 (학사)

KAIST 산업 및 시스템 공학과 (석사)

KAIST 산업 및 시스템 공학과 (박사과정)

생산관리, 물류관리, 스케줄링, SCM 등



오용희

1996년

1998년

2006년

2007년~2009년

2009년~현재

관심분야

(E-mail : oryong@daejin.ac.kr)

KAIST 산업공학과 (학사)

KAIST 산업공학과 (석사)

KAIST 산업공학과 (박사)

대진대학교 산업경영공학과 전임강사

대진대학교 산업경영공학과 조교수

생산관리, 물류관리, 스케줄링, SCM 등