

유전 알고리듬을 이용한 물류시스템의 동적 수송계획 모형*

장석화

인천대학교 산업공학과

A Model of Dynamic Transportation Planning of the Distribution System Using Genetic Algorithm

Suk-Hwa Chang

Industrial Engineering Department, University of Incheon

This paper addresses the transportation planning that is based on genetic algorithm for determining transportation time and transportation amount of minimizing cost of distribution system. The vehicle routing of minimizing the transportation distance of vehicle is determined. A distribution system is consisted of a distribution center and many retailers. The model is assumed that the time horizon is discrete and finite, and the demand of retailers is dynamic and deterministic. Products are transported from distribution center to retailers according to transportation planning. Cost factors are the transportation cost and the inventory cost, which transportation cost is proportional to transportation distance of vehicle when products are transported from distribution center to retailers, and inventory cost is proportional to inventory amounts of retailers. Transportation time to retailers is represented as a genetic string. The encoding of the solutions into binary strings is presented, as well as the genetic operators used by the algorithm. A mathematical model is developed. Genetic algorithm procedure is suggested, and a illustrative example is shown to explain the procedure.

Keywords : Distribution System, Discrete and Finite Time Horizon, Transportation Planning, Vehicle Routing, Genetic Algorithm

1. 서 론

기업에서 물류관리 관련 부분이 비용을 낮출 수 있고, 기업의 경쟁력을 높일 수 있는 것으로 크게 인식되고 있다. 이는 생산부분에서는 생산설비의 자동화와 생산관리 기술의 발전 등으로 비용절감을 상당히 달성하여 추 가적인 비용개선에 어려움을 겪고 있지만, 자재의 수송, 보관, 포장, 하역 및 정보 등과 같은 물류관리부분은 비용을 줄일 수 있는 여지가 많은 부분으로 평가되고 있기 때문이다. 원자재, 반제품, 완제품 등의 자재가 경제

적 가치를 창출하기 위하여 이동될 때 수송, 보관 등과 같은 물류활동이 필요하다. 물류활동 중에서 수송, 보관 및 재고관리 등이 가장 큰 비중을 차지한다. 따라서 수송과 재고관리에서 비용을 줄이고 효율을 높일 수 있는 방법이 필요하다.

물류센터와 대리점들로 이루어진 물류시스템에서 물류센터에서 대리점으로 제품을 수송할 때 비용요소를 반영한 적절한 수송계획이 필요하다. 이산형 유한 기간 모형에서 매 기간 각 대리점에서 수요량이 발생하고, 이 수요량을 물류센터로부터 공급받는다. 물류센터는 대리점의 고객에 대한 재고부족이 발생하지 않도록 비용요

* 본 연구는 한국과학재단 지정 인천대학교 동북아전자물류연구센터의 지원에 의한 것임

소를 고려하여 적절한 수송계획을 세워야 한다. 비용요소는 물류센터에서 대리점으로의 제품의 수송비용과 대리점에서의 제품의 재고비용이 있다.

이산형 유한기간 모형에서 수송계획은 물류센터에서 각 대리점으로의 수송시점과 수송량을 결정하는 것이다. 이러한 결정은 수송비용과 재고비용을 최소화하는 기준을 만족시켜야 한다. 차량이 여러 대리점을 순회하며 수송하는 경우에 수송거리를 줄일 수 있는 차량경로를 결정해야 한다. 매기간 모든 대리점에 수송이 이루어지는 것이 아니고 수송계획에 의해 대리점별로 수송시점이 다르게 정해진다. 그러므로 매 기간 수송이 발생한 대리점에 대해 수송거리를 줄일 수 있도록 동일 차량에 의해 수송이 이루어지는 대리점 그룹들을 만들고, 각 그룹에 대해 차량경로를 구한다. 물류시스템에서 수송비용과 재고비용은 서로 상충한다. 이 상충되는 비용요소들에 대해 전체적인 비용이 최소가 되도록 의사결정 요소들을 결정한다.

물류관리에 대한 내용은 크게 수송전략측면, 재고전략측면, 물류시설의 위치전략측면이 있다[2]. 수송전략측면에서의 주요 연구내용은 수송차량 형태의 선택, 화물 통합, 차량경로, 장비선택, 차량의 수의 결정 등이 있다. 재고전략측면에서 보관은 재고관리와 관련되어 있어 재고관리정책, product-mix, 저장위치의 수, 크기, jit, push, pull 전략 등과 보관공간결정, 배치 및 dock 설계, 창고구조 등의 내용이 있다. 위치전략측면은 이동을 줄일 수 있는 물류센터의 위치, 설비 위치 결정, 물류 네트워크 계획 등의 내용이 있으며 보관과 깊은 관련이 있다.

기업이 조달, 생산 유통 등에서 긴밀한 관계를 맺게 됨으로써 공급망 경영에 대한 관심이 증가하고 있다[7]. 기업활동이 세계화됨에 따라 생산 및 물류관리가 복잡해지고, 불확실성이 증가하게 되어 공급망 전체에 효과적인 관리에 많은 어려움이 발생하게 된다[12].

Wagner and Whitin[22]는 단일계층 재고모형에 대한 로트크기 결정 문제를 동적계획으로 다루었고, 계속하여 이들과 관련하여 많은 연구들이 진행되어 왔다([1], [21], [23]).

재고통제와 차량경로문제를 통합한 다기간 모형의 연구로는 확정적인 고객수요를 갖는 모형에서 Dror and Ball[10], Chien et al.[5]는 후 기간들에 대해 한 시점에서 만들어진 의사결정 영향을 반영하기 위해 다기간 문제를 일련의 단일기간 모형으로 나누는 제시하였다. 다기간 재고와 차량경로 문제에 대한 추가적인 연구가 이루어졌다([11], [15]).

본 연구에서는 하나의 물류센터와 다수의 대리점으로 구성된 물류시스템에서 이산형 유한기간 모형에서 대리점의 수요가 동적으로 발생할 때 물류센터에서 대리점

으로의 수송비용과 대리점에서의 재고비용을 합한 비용을 최소화하도록 물류센터에서 대리점으로 수송계획을 구하고, 또한 기간별 방문하는 대리점들을 구하고, 대리점을 방문하는 순서인 차량경로를 구하는 내용을 다룬다. 해를 구하는 절차로 유전알고리듬을 이용하여 개발하였다.

2. 수송계획 모형

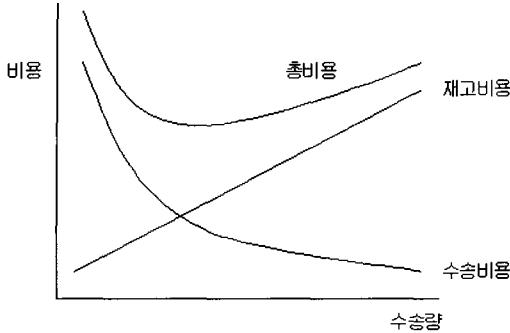
2.1 모형 형성

물류센터와 대리점으로 이루어진 물류시스템에서 대리점의 동적 수요량에 맞추어 물류센터에서 대리점으로 제품을 수송할 때 비용을 최소화하는 수송계획을 구한다. 이산형 유한기간 모형에서 대리점은 기간별로 필요한 수량이 있다. 이 수량을 수요량이라 한다. 대리점에서 필요한 수요량을 모든 기간에 대해 부족함이 없도록 물류센터에서 대리점으로 수송해야 한다. 대리점의 기간별 수요량은 차량의 수송능력보다 적은 것으로 한다. 어느 기간의 대리점의 수요량이 차량의 수송능력보다 큰 경우는 차량의 수송능력에 해당하는 수요량은 한 대리점씩 수송하고, 차량의 수송능력에 미달하는 나머지 것은 다른 대리점들과 함께 수송할 수 있다. 비용요소는 물류센터에서 대리점으로의 수송비용과 대리점에서의 재고비용이 있다. 수송비용과 재고비용의 합을 최소화하도록 매 기간 물류센터에서 대리점으로 수송량을 결정한다. 각 대리점의 수요량이 차량의 수송능력보다 적을 경우에 한 대리점만을 수송하는 것은 차량의 수송효율에서 비경제적이므로 여러 대리점의 수요량을 한번에 순회 방문하면서 수송한다. 따라서 수송비용은 대리점을 순회하는 차량경로에 따라 결정된다.

수송량과 비용과의 관계는 그림 1과 같이 대리점에의 수송량이 클수록 수송비용은 감소하지만 대리점에서의 재고비용은 증가하게 된다. 수송량에 대해 수송비용과 재고비용이 서로 상충관계에 있기 때문에 대리점들은 총비용을 적게 할 수 있는 적절한 수송량을 구할 필요가 있다. 그러나 수송비용이 여러 대리점을 순회하며 수송하는 거리에 비례하기 때문에 수송비용이 대리점별로 분리되어 있지 않고 여러 대리점이 함께 묶여있기 때문에 모든 대리점에 대해 통합적으로 결정한다.

대리점은 일정한 수송계획기간동안 매 기간 필요한 수요량을 예측하여 물류센터에 보낸다. 물류센터는 모든 대리점으로부터 수송계획기간동안 매 기간 수요량에 대한 자료를 받는다. 이 자료를 대리점의 수요량으로 하여 물류센터에서 대리점으로의 수송계획을 세운다. 모형을

세우기 위해 다음과 같은 가정을 세운다.



<그림 1> 수송량에 대한 수송 및 재고비용

- ① 이산형 다기간 유한기간 모형이다.
- ② 대리점의 매 기간 수요는 동적이고, 양수이고 확정적이고 알려져 있다.
- ③ 대리점에서 재고부족은 발생하지 않는다.
- ④ 대리점의 매 기간 수요량은 차량의 수송능력보다 적은 것으로 한다.
- ⑤ 대리점의 어떠한 기간 수요량은 여러 번에 나누어 수송되지 않고 한번에 수송된다.
- ⑥ 대리점의 수송을 위해 물류센터의 재고부족은 발생하지 않는다.

다음과 같은 부호를 정의한다.

- o = 물류센터를 나타내는 첨자
- k, j = 대리점을 나타내는 첨자
- K = 대리점의 수
- t = 기간을 나타내는 첨자
- T = 계획기간
- d_{ok} = 물류센터 o 와 대리점 k 사이의 거리
- d_{jk} = 대리점 j 와 대리점 k 사이의 거리
- r_{tk} = 기간 t 에서 대리점 k 의 수송 수요량
- c_1 = 단위거리 수송비용
- h_k = 단위당 단위시간당 대리점 k 에서 재고유지비용
- q = 차량의 수송 용량
- I_{tk} = 시점 t 시점에서 대리점 k 의 재고량
- y_{tk} = 시점 t 에서 대리점 k 에 수송량
- A_{tr} = 기간 t 에서 tour r ($r=1, 2, \dots, R_t$)에 포함된 물류센터와 대리점의 집합, 물류센터는 모든 tour에 포함됨.

$$x_{trjk} = \begin{cases} 1, & \text{기간 } t \text{에서 tour } r \text{에서 대리점 } j \text{ 후에} \\ & \text{대리점 } k \text{를 방문하면,} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

$$z_{tk} = \begin{cases} 1, & \text{기간 } t \text{에서 대리점 } k \text{에 수송을 하게되면} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

수송비용과 재고유지비용을 생각한다.

수송비용은 물류센터를 출발하여 대리점들을 순회 방문하여 제품을 수송하고 다시 대리점으로 돌아오기까지의 거리에 대한 비용이다. 대리점들을 어떻게 연결하여 수송할 것인가에 따라 수송거리가 결정된다. 수송계획에 따라 매 기간 방문할 대리점이 다르다. 매 기간 방문할 대리점들에 대해 차량경로를 각각 구해 수송하게 된다.

물류센터에서 대리점으로의 수송시점과 수송량에 따라 차량경로계획을 세운다. 매 기간 모든 대리점에 항상 수송을 하는 것이 아니고, 비용을 줄일 수 있도록 적절한 여러 시점들에서 수송을 하게 된다. 차량의 수송능력과 대리점으로의 수송량에 따라 많은 차량경로가 존재한다. 이러한 차량경로들에 대하여 수송거리를 구하고, 수송비용을 구한다. 모든 기간동안 가능한 모든 차량경로 대리점 결합 집합들에 대해 수송비용 Z_c 을 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$Z_c = \sum_t^R \left(\sum_{r=1}^{R_t} \sum_{j \in A_{tr}} \sum_{k \in A_{tr}} c_1 d_{jk} x_{trjk} \right) \quad (1)$$

제약식은 차량경로를 구성하는 집합의 대리점들을 네트워크로 나타낼 때 대리점에서 나가는 선은 한 개이고, 들어오는 선도 한 개이고, 각 대리점은 수송이 이루어지는 기간에 하나의 차량경로에, 각 차량경로의 수송량은 차량의 수송능력의 범위 내에 있어야 하며, 차량경로는 하나의 투어 경로를 구성해야 하는 것이 필요하다. 이들에 대한 제약식은 식 (2), (3), (4), (5), (6), (7)과 같다.

$$\sum_{j \in A_{tr}} x_{trjk} = 1, \quad \forall t, \forall r, k \in A_{tr} \quad (2)$$

$$\sum_{k \in A_{tr}} x_{trjk} = 1, \quad \forall t, \forall r, j \in A_{tr} \quad (3)$$

$$\sum_{k \in A_{tr}} y_{tk} x_{trjk} \leq q, \quad \forall t, \forall r \quad (4)$$

$$x_{trjk} = 0 \text{ or } 1, \quad \forall t, \forall r, k \in A_{tr}, j \in A_{tr} \quad (5)$$

$$y_{tk} \geq 0, \quad \forall t, \forall k \quad (6)$$

$$\text{and } x_{tr} = (x_{trjk}) \text{ is a tour assignment} \quad (7)$$

식 (4)은 변수의 곱으로 표현된 비선형 구조이고, 식 (7)은 선의 연결이 tour가 되어야 함을 의미한다. 이러한 제약식을 사용한 모형은 선형계획으로 해를 구할

수 없다.

재고비용은 모든 기간에 대리점의 재고량에 비례한다.
재고비용 Z_h 은 다음의 식 (8)과 같다.

$$Z_h = \sum_t \sum_k h_k I_{tk} \quad (8)$$

매 기간 대리점들의 재고방정식은 식 (9), (10)를 만족해야 한다.

$$I_{tk} = I_{t-1, k} + y_{tk} - r_{tk}, \quad \forall t, \forall k \quad (9)$$

$$I_{tk} \geq 0, \quad y_{tk} \geq 0, \quad \forall t, \forall k \quad (10)$$

기간 t 에서 어떠한 대리점에 수송이 이루어질 경우에 이 대리점은 다른 대리점과 함께 차량경로를 이룬다. 이러한 차량경로가 다수 존재할 수 있다. 수송이 이루어지는 대리점은 하나의 차량경로에 포함되어야 한다. 대리점에 수송이 없는 기간에는 이 대리점은 차량경로에 포함될 필요가 없다. 수송비용과 재고비용을 최소화하는 해에 포함될 차량경로에 대해 수송계획과 차량경로계획을 구하는 수리적 모형은 P1과 같다.

$$\begin{aligned} P1: \text{minimize } Z &= \sum_t \sum_{r=1}^{R_t} \left(\sum_{j \in A_r} \sum_{k \in A_{tr}} c_1 d_{jk} x_{trjk} \right) \\ &+ \sum_t \sum_k h_k I_{tk} \end{aligned} \quad (11)$$

subject to

식 (2), (3), (4), (9), (10), (5), (7)

위의 수리적 모형 P1은 비선형문제이다. 이 모형에 대해 기존의 선형계획과 같은 방법으로 해를 구할 수 없다. 그리고 대리점의 수가 증가하고, 기간이 커지면 해를 구하기 위한 계산이 크게 증가하게 된다. 따라서 이 문제의 해를 구할 수 있는 적절한 해법이 필요하다.

대형 수리계획 문제의 해를 구하는데 많이 이용되는 발견적 기법으로 유전알고리듬, 시뮬레이티드 어닐링, 타부서치 등의 Meta 휴리스틱 방법이 있다. 본 논문에서는 유전알고리듬을 적용하여 해를 구하고자 한다. 매 기간에서 물류센터에서 대리점으로의 수송여부에 따라 변수를 0, 1로 정의하여 표현할 수 있고, 문제의 규모가 커짐에 따라 대형 수리계획 문제가 되어 기존의 동적계획법, 분기한계 기법 등으로 해를 구하는데 어려움이 따른다. 그러므로 모형 P1의 해를 구하는데 있어 비록 최적해는 아니지만 근사 최적해를 구하는데 있어 유전알고리듬이 적절한 방법이라고 생각되기 때문이다. 유전알고리듬을 적용하면서 수리적 모형 P1의 해를 3 단계로

나누어 구한다.

2.2 수송계획 해의 성질

(가) 수송시점 구하기

이 단계에서는 물류센터에서 각 대리점으로의 수송시점을 구하는 것이다. 이는 유전알고리듬을 적용하는 과정에서 생성하고 개선한다. 해를 구하는 전체적인 과정은 유전알고리듬을 적용하고, 유전알고리듬 구조 속에서 매 기간 물류센터에서 각 대리점으로의 수송여부 z_{tk} 을 구한다. z_{tk} 을 유전알고리듬의 해의 집합에 있는 개체의 유전자로 하여 구한다. 기간 t 에서 대리점 k 에 수송여부 변수 z_{tk} 을 사용하여 수송량 y_{tk} 을 수송량 구하기 단계에서 구한다. 수송시점 z_{tk} 와 수송량 y_{tk} 사이에 다음과의 관계식을 넣는다.

$$y_{tk} \leq M z_{tk}, \quad \forall t, \forall k \quad (12)$$

$$z_{tk} \leq y_{tk}, \quad \forall t, \forall k \quad (13)$$

$$z_{tk} = 0 \text{ or } 1, \quad \forall t, \forall k \quad (14)$$

식 (12)에서 M 은 임의의 큰 양의 상수이다.

(나) 수송량 구하기

이 단계는 수송시점 구하기에서 구한 것을 이용하여 수송시점에서의 수송량을 구하는 것이다. 수리적 모형 P1 중에서 다음과 같이 수리적 모형 P2로 나타낸다.

$$P2: \text{minimize } Z_h = \sum_t \sum_k h_k I_{tk}$$

subject to

식 (9), (12), (13), (10), (14)

모형 P2에서는 수송시점 여부를 나타내는 변수 z_{tk} 가 주어지면 수송량 y_{tk} 을 구한다. 이는 Wagner and Whitin [22]에 의해 연구된 결과에 의하면 시점 t 에서 수송량과 재고량은 다음의 식 (15)의 관계가 성립하는 것으로 가정한다.

$$I_{t-1} y_{tk} = 0, \quad \forall t, \forall k \quad (15)$$

이 단계는 시점 t 의 수송량을 구하는 것으로 대리점 k 에서 연속적인 어느 두 개의 양의 수송시점이 m, n 라면 $z_{mk}=1, z_{m+1,k}=0, \dots, z_{n-1,k}=0, z_{nk}=1$ 이 된다. 그러므로 시점 m 에서 $n-1$ 사이의 기간 t 의 수송량,

y_{tk} 은 다음의 식 (16)과 같다.

$$y_{tk} = \begin{cases} \sum_{t=m}^{n-1} r_{tk}, & t = m \\ 0, & t = m+1, m+2, \dots, n-1 \end{cases} \quad \dots \dots \dots \quad (16)$$

그리고 수송시점과 수송량을 이용하여 재고비용 Z_h 을 구한다.

(다) 차량경로 구하기

물류센터에서 대리점으로의 수송량 y_{tk} 는 모형 P1에
서는 변수이지만, 모형 P2를 통하여 상수로 바뀌어 물류
센터에서 대리점으로의 차량경로와 수송비용을 구하는
데 사용된다. 수송시점 구하기 단계와 수송량 구하기 단
계에서 구한 각 대리점에의 수송시점과 수송량을 사용
하여 수송비용을 최소화하는 차량경로계획을 구하는 수
리적모형은 다음의 P3과 같다.

P3: minimize $Z_c = \sum_t^R (\sum_{j \in A_{tr}} \sum_{k \in A_{tr}} c_1 d_{jk} x_{trjk})$
 subject to
 식 (2), (3), (4), (5), (6), 그리고 (7)

앞의 모형 P3은 수송비용은 최소로 하는 차량경로계획을 구하는 것이다. 차량경로계획을 구하는 방법으로는 Gillett and Miller[14]의 the sweep 알고리듬과 Wright and Clarke[8]의 savings heuristic 알고리듬 등이 있다. 계속하여 이 분야의 알고리듬의 개발에 많은 연구가 있어 왔다[3, 4, 13, 17, 21]. 알고리듬 중에서 savings heuristic 해법을 적용하여 해를 구한다. 매 기간 수송할 대리점에 대해 수송량이 결정되면, 차량의 수송능력을 제한요소로 하여 차량경로계획을 구한다.

Saving heuristic 차량경로 계획 알고리듬의 절차는 다음과 같다[8].

- ① 각 대리점은 독립적인 차량에 수송되는 해로 시작 한다.
 - ② 대리점 k 와 j 의 모든 쌍에 대해 물류센터로부터의 거리를 적용하여 savings $s_{kj} = d_{ok} + d_{oj} - d_{kj} \geq 0$ 을 계산한다.
 - ③ savings s_{kj} 을 큰 값부터 감소하는 순서로 나열한다.
 - ④ savings 목록에서 첫 번째 실현가능한 선 (k, j) 을 찾는다. 선은 다음을 만족한다.
 - (a) k 와 j 가 다른 경로에 있다.
 - (b) k 와 j 는 각각의 경로에서 방문하게 될 첫 번째

혹은 마지막이다.

- (c) 경로 k 와 j 의 수요의 합이 q 보다 크지 않다.
 선 (k, j) 을 현재의 해에 넣고, 선 (o, k) 와 (j, o) 을 제거한다. 그리고 savings 목록에서 s_{kj} 를 제거한다.

⑤ 조건을 만족하는 어떠한 더 이상의 선이 없을 때 까지 ④를 반복한다.

수송시점 구하기에서 물류센터에서 대리점으로의 수송시점을 구하고, 수송량 구하기에서 재고비용을 구하고, 그리고 차량경로 구하기에서 수송비용을 구할 수 있다. 따라서 재고비용과 수송비용은 일련의 해를 구하는 과정에서 얻어진 해로 수송시점 구하기에서 구해진 수송시점에 대한 해이다. 즉, 여기서 구한 총비용은 하나의 수송시점이 주어졌을 때 구해진 하나의 해이다. 수송시점이 다르면 다른 총비용을 갖는 해가 구해진다. 수송시점은 매우 많이 다르게 주어질 수 있다. 매우 많은 가능한 수송시점 중에서 해를 개선할 수 있는 방향으로 수송시점을 구할 수 있는 해법을 개발할 필요가 있다. 수송시점 구하기에서 구할 수 있는 수송시점은 매우 많다. 총비용이 가장 적은 해를 갖는 수송시점을 한번에 구하는 것은 어렵다. 임의의 초기해로부터 시작하여 총비용을 최소화하는 해를 얻기 위해 수송시점을 변화시키면서 해를 개선하는 유전 알고리듬을 적용한다. 문제는

3. 유전 알고리듬

유전 알고리듬은 1970년대 말에 개발되어 여러 분야에서 대형 문제를 해결하는데 효과적으로 이용되고 있다. 자연에서, 생물학적인 구조는 환경에 잘 적응하면서 더 나은 성과를 주는 방향으로 점진적으로 수정되어 왔다. 유전 알고리듬(genetic algorithm)은 자연선택과 진화 과정을 모방한 발견적 탐색 및 최적화 기법의 부류이다. 유전 알고리듬의 기본개념은 Holland[20]에 의해 제시되었다. Goldberg[19]는 유전 알고리듬이 유연성, 견고함, 효율성 등에서 기존 탐색절차와 다르다고 제시하였다. 유전 알고리듬을 설명을 위한 부호를 정의한다.

- s = 세대를 나타내는 첨자
 S = 세대 수
 $P(s)$ = 세대 s 에서 해의 집단의 집합
 N = 해의 집단에 있는 개체의 수
 L = 개체의 크기로 한 개체에 있는 원소의 수
 p_c = 교차율
 p_m = 돌연변이율

문제에 대한 개체를 염색체 또는 스트링으로 부르고, 염색체의 길이 L 은 $(z_1, z_2, z_3, \dots, z_i, \dots, z_L)$ 의 형태로 나타내며, 여기서 z_i 는 유전자를 의미한다. 특별한 해에서 유전자의 값은 대립유전자이다. z_i 가 선택되는 값의 범위는 문제의 알파벳으로 부른다. 흔히 알파벳은 이진수 0, 1로 이루어져 있다. 해의 풀을 일정한 크기로 가정된 해의 집단으로 부른다. 재생산과정은 초기 해의 집단을 임의적으로 선택하여 시작된다. 각 염색체에 적응도로 불리는 양의 값을 할당한다. 적응도 값을 바탕으로 하여 현재 해의 집단의 염색체는 재생산을 위해 선택된다. 재생산은 유전자에 교차와 돌연변이라는 유전자 조작을 적용하여 이루어진다.

교차는 두 개의 후손을 생산하기 위해 두 개의 부모 염색체의 부분스트링을 바꾸는 것이다. 교차는 교차비율로 불리는 확률 p_c 만큼 발생시킨다. 돌연변이는 하나의 알파벳에서 다른 알파벳으로 대립유전자의 임의의 변화이다. 돌연변이는 확률 p_m 만큼 발생한다.

유전 알고리듬은 무제한 탐색 기법이다. 그러나 실제 문제들은 하나 이상의 제약을 갖고 있다. 별책방법, 수리 알고리즘과 같은 제약을 다루는 다른 접근법이 Michalewicz[18]에서 제안되었다.

여기서 유전인자는 각 대리점에 대해 수송여부를 나타낸다. 기간 t 의 대리점 k 에 수송이 이루어지면 $z_{tk} = 1$ 로 하고, 수송이 이루어지지 않으면 $z_{tk} = 0$ 으로 한다.

$$\left(\tilde{z}_1, \tilde{z}_2, \tilde{z}_3, \tilde{z}_4, \tilde{z}_5, \tilde{z}_6, \tilde{z}_7, \tilde{z}_8, \tilde{z}_9 \right)$$

예를 들어, $T=4$, $K=3$ 일 때, 어떠한 개체의 염색체 순서가 $(1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1)$ 이면, 대리점 1에는 기간 1과 3에 수송이 되고, 대리점 2에는 기간 1, 2와 4에 수송이 되고, 대리점 3에는 기간 1과 4에 수송이 된다. 기간 1에는 대리점 1, 2, 3에 수송하고, 기간 2에는 대리점 2에 수송하고, 기간 3에는 대리점 1, 기간 4에는 대리점 2, 3에 수송한다. 매 기간 대리점에 재고 부족이 발생하지 않아야 하기 때문에 수송량은 수송시점부터 다음 수송시점 이전 기간까지의 수요량의 합 이상에서 다음 수송시점까지의 수요량의 합보다 적은 범위에서 수송해야 한다. 모든 대리점의 모든 기간의 수요량을 양수로 가정하였기 때문에 유전자의 염색체 순서에서 각 대리점의 첫 번째 기간을 나타내는 위치는 항상 1이 되어야 한다. 해의 실현 가능성 조건은 다음 (17)과 같다.

유전알고리듬을 이용하여 수송시점 구하기의 수송시점 구한다. 개체의 염색체의 배열에 따라 1로 나타내진 기간은 수송이 이루어지고, 실질 수송량이 얼마나 될 것인가를 수송량 구하기를 적용하여 구한다. 즉, 수송량 구하기에서 z_{tk} 의 값은 개체의 염색체의 스트링에 의해 주어진다. 주어진 z_{tk} 에 대해 모형 P2는 선형계획 모형이다. 이 선형계획 모형의 해 y_{tk} 을 구한다. 이 z_{tk} 와 y_{tk} 의 값에 따라 매 기간 모든 대리점에 대해 수송할 대리점과 수송량을 구할 수 있다. 그리고 차량경로 구하기 모형을 적용하여 차량의 제한된 수송범위에서 차량 경로계획을 구하고, 수송비용을 구한다. 수송량 구하기에서 구한 재고비용과 차량경로 구하기에서 구한 수송비용을 합하여 총비용을 구한다.

3.1 초기 해의 집단

세대 $s=0$ 에서 초기 해의 집단 $P(s)$ 을 만든다. $P(s)$ 에 있는 개체에 대해 염색체의 유전자들에 0, 1을 임으로 할당하여 만든다. 만들어진 개체가 실현가능한지를 확인하여 실현가능하면, 해의 집단 $P(s)$ 에 넣고, 실현가능하지 않으면 이 염색체를 삭제하고 다시 생성하여 실현가능할 때까지 염색체를 생산한다. 실현가능한 개체의 수가 N 개가 될 때까지 만든다. 여기서 실현가능 여부는 대리점의 재고부족의 여부이다. 수요에 대해 재고가 부족하지 않으면 실현가능한 것으로 하고, 재고가 부족하면 실현가능하지 않은 것으로 한다. 수송계획기간에서 각 대리점의 첫 번째 기간의 수요량이 양수이면, 이 위치를 나타내는 유전자를 항상 1로 유지하면 유전자 배열은 항상 실현가능하다.

3.2 적응도 평가

해의 평가 값은 해의 집단에 있는 각 염색체에 나타난 형태로 수송이 이루어질 때 수송비용과 재고비용을 합한 총비용이 된다. 비용은 식 (18)과 같이 나타내진다. 각 대리점의 첫 번째 기간의 수요량이 양수이면 이 위치의 유전자는 항상 1이 되고, 다른 위치의 유전자는 0 혹은 1이 되어도 실현가능하게 된다. 따라서 각 대리점의 첫 번째 기간의 유전자는 항상 1로 유지하여 모든 개체에 대해 실현가능하게 한다.

$$Z = \sum_t \sum_{r=1}^{R_t} \left(\sum_{j \in A_{tr}} \sum_{k \in A_{tr}} c_1 d_{jk} x_{trjk} \right) + \sum_t \sum_k h_k I_{tk} \dots \dots \dots \quad (18)$$

이 비용 Z 는 비용이기 때문에 적을수록 적을도가 우

수한 것으로 한다. 해의 집단에 있는 모든 개체에 대해 비용을 계산하고, 이 비용을 대신하여 새로운 적응도 값을 부여하고, 선별확률을 평가하고 선별과정을 따라 다음 자손을 생산한다. 이 선별확률을 자손을 생산하기 위하여 교차를 행하기 위한 부모를 선택하는데 사용한다.

각 개체에 비용을 기준으로 하여 해의 집단에서 비용이 가장 적은 개체에서 가장 큰 개체의 순서로 하는 순위선별 방식으로 새로운 적응도 값을 부여하고, 이 값을 이용하여 순위에 따른 확률을 부여한다. 임의의 두 양수 a, b ($a > b$)에 정해, 비용이 가장 적은 개체에 적응도 값을 a 를 부여하고, 비용이 가장 큰 개체에 적응도 값을 b 를 부여하고, 중간에 있는 개체에는 $(a - b)/(N-1)$ 의 간격으로 차례로 적응도 값을 부여한다. 즉, 비용이 가장 적은 개체에 a 를 부여하고, 다음으로 적은 개체에 $a - (a - b)/(N-1)$ 을 부여하고, 그 다음 개체에는 $a - 2(a - b)/(N-1)$ 을 부여한다. 나머지 개체에 대하여도 동일한 절차로 값을 차례로 부여한다. 새로 부여한 적응도 값을 모두 더하여 총 적응도 값을 구한 후에 각 개체의 적응도 값을 총 적응도 값으로 나누어 각 개체의 선별확률로 전한다. 이 선별확률을 자손을 생산하기 위하여 교차를 행하기 위한 부모를 선택하는데 사용한다.

3.3 교차

난수를 발생시켜 해의 집단의 개체 중에서 교차를 위한 후보자를 선택한다. 두 개체를 선택하여 교차한다. 해의 집단에서 선별확률을 사용하여 차례로 누적확률을 구하여 각 해가 존재하는 누적확률의 범위를 구한 후에 난수를 발생시켜 이 난수가 포함된 해를 자손을 생성하기 위한 부모로 선택한다. 선택된 두 부모에 대해 교차를 행하여 자손을 생산한다. 예를 들면, P1, P2의 두 염색체를 선택하여 표시된 부문을 기준으로 1점 교차를 행하면 다음과 같은 자손 C1, C2가 생산된다.

$$\begin{aligned} P1 &= (1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 | 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1) \\ P2 &= (1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 | 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1) \\ C1 &= (1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 | 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1) \\ C2 &= (1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 | 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1) \end{aligned}$$

예에서 염색체의 요소는 12개가 존재한다. 1점 교차점의 위치로 모든 염색체의 사이가 될 수 있다. 각 교차에서 어느 위치로 할 것인가는 난수를 생성하여 위치를 정한다. 각 대리점은 어느 위치에서는 무작위로 교차가 발생할 수 있다. 교차를 통하여 만들어진 자손 개체에

대하여 실현가능성을 조사한다. 만들어진 자손 개체 두 개가 모두 실현가능하면 해의 집단에서 부모개체를 삭제하고 이 자손개체들을 다음 세대의 해의 집단에 넣는다. 실현가능하지 않으면 이 부모 개체는 두고 새로운 부모 개체를 선택하여 교차하여 실현가능성을 조사하는 절차를 반복한다. 삭제된 부모 개체의 수와 새로 생성된 자손 개체의 수가 $[p_c M]^+$ ($p_c N$ 보다 적지 않으며 가장 적은 짹수)개가 될 때까지 반복한다.

3.4 돌연변이

돌연변이는 새로 생성된 해의 집단에 대해 모든 염색체의 원소인 유전자에 번호를 차례로 부여하고, 난수를 발생시켜 난수에 해당하는 유전자의 값을 변화시킨다. 유전자가 0이면 1, 1이면 0으로 변화시킨다. 이 변화된 개체에 대하여 실현가능성을 조사한다. 돌연변이가 발생한 개체가 실현가능하면 선택된 개체를 해의 집단에서 삭제하며 새로운 개체를 해의 집단에 넣고, 실현가능하지 않으면 이 개체를 두고, 돌연변이를 위한 원소에 해당하는 개체를 새로이 선택하여 돌연변이를 행하는 절차를 수행한다. 실현가능해를 유지하기 위해 각 대리점의 첫 번째 기간의 수요량이 양수이면, 돌연변이 대상으로 이 유전자 위치를 선택하지 않는다. 돌연변이가 발생된 원소의 수가 $[p_m NL]^+$ ($p_m NL$ 보다 적지 않으며 가장 적은 정수)개가 될 때까지 반복한다.

3.5 종료 기준

설명된 진화과정은 종료기준이 정의되지 않으면 끝없이 실행될 것이다. 몇 세대까지 유전 알고리듬을 계속하여 반복할 것인가를 정해야 한다. 고정된 수의 반복을 한 후에 탐색과정을 종료하는 방법과 같이 세대수로 종료시키는 방법과 연속적으로 일정한 횟수를 진행하는 동안 해의 개선이 없으면 종료하는 방법과 같이 조건을 주어 종료시키는 방법이 있을 것이다. 여기서는 일정한 세대를 진행하여 종료한 후에 수행 과정에서 발견한 가장 좋은 해를 찾는다.

4. 알고리듬

부분 3의 유전알고리듬을 적용하여 부분 2에서 설명된 해를 구하는 절차를 적용한 알고리듬은 다음과 같다.

단계 1: (초기 해의 집단) $s \leftarrow 0$ 을 두고, 실현가능한

해의 집단 $P(s)$ 을 임의로 생성한다. 초기 해의 집단의 개체의 유전자는 각 대리점에 수송시점을 결정하는 것으로 유전자에 0 또는 1을 부여한다. 단 모든 대리점의 첫 번째 기간의 수요량이 양수이면, 이 위치의 유전자는 1로 한다.

$a, b (a > b), N, L, T, p_c, p_m$ 의 값을 준다.

단계 2: (적응도 평가) 해의 집단 $P(s)$ 에 있는 모든 개체에 대해 비용을 구해 적응도 값을 평가 한다.

(1) $P(s)$ 에 있는 모든 개체의 비용을 구하고 기록한다. 해의 집합에 있는 각 개체에 대해 구해진 대리점에의 수송시점을 사용하여 매 기간 수송량을 구하여 재고비용을 구한다. 매 기간 양의 수송량을 갖는 대리점들에 대해 차량경로계획을 구하는 알고리듬을 적용하여 모든 기간에 대해 차량경로계획을 구해 수송거리와 수송비용을 구한다. 그리고 재고비용과 수송비용을 합한 비용을 구한다. 해의 집합에 있는 개체들 중에서 가장 적은 비용을 갖는 개체를 기록하여, 이 개체의 비용이 현재 까지 기록된 최소비용 개체보다 적으면 이 개체의 비용, 수송시점과 차량경로계획을 기록한다. 그렇지 않으면 이전 기록을 유지한다. 마찬가지로 해의 집합에 있는 개체들의 세대별 평균비용을 기록하여 현 세대의 평균비용이 직전 세대까지의 평균 비용보다 적으면 이 평균비용과 세대 s 을 기록하고, 그렇지 않으면 이전기록을 유지한다.

(2) 적응도 평가는 해의 집단에 있는 모든 개체에 대하여 비용이 적은 개체에서 큰 개체의 순서로 정렬한 후 순위선별 방식으로 적응도 값을 부여한다. 즉 비용이 가장 적은 개체에는 a , 다음으로 적은 개체에는 $a - (a - b)/(N-1)$, 그 다음으로 적은 개체에는 $a - 2(a - b)/(N-1)$ 을 부여하는 방식으로 해의 집단에 있는 모든 개체에 차례로 부여한다. 가장 큰 비용을 갖는 개체에는 b 을 부여한다. 해의 집단에 있는 모든 개체의 적응도의 합을 구하고, 각 개체의 적응도 값을 해의 집합에 있는 모든 개체의 적응도의 합으로 나누어 각 개체의 선별확률을 정한다.

단계 3: (선별 및 교차)

- (1) $P(s)$ 의 개체를 모두 $P(s+1)$ 에 넣는다.
- (2) $[0, 1]$ 사이의 난수를 발생시켜 $P(s)$ 에 있는 두 개의 개체를 선별한다. 선택한 두 개체를 교차하는 개체로 둔다.
- (3) 두 개체를 교차하여 두 자손을 생산한다. 두 자손

이 실현가능하면 $P(s)$ 에서 교차된 부모 개체와 동일한 위치의 개체를 $P(s+1)$ 에서 제거하고, 대신 생산된 자손을 $P(s+1)$ 에 넣는다. 실현가능하지 않으면, 교차단계 (2)를 다시 수행한다. 교차된 개체의 비율을 구하여 비율이 p_c 보다 크면 다음단계로 가고, 비율이 p_c 보다 적으면 선별 및 교차단계의 (2)를 계속 수행한다.

단계 4: (돌연변이) $P(s+1)$ 의 개체를 돌연변이 시킨다. 개체의 각 원소에 대해 $[0, 1]$ 사이의 난수를 발생시켜 난수에 해당하는 개체의 원소를 돌연변이 시킨다. 돌연변이가 발생한 원소가 포함된 개체가 실현 가능하면 이를 $P(s+1)$ 에 두고, 돌연변이가 행해진 비율을 구하고, 이 비율이 p_m 보다 적으면 계속하여 새로운 돌연변이를 수행하고, 이 비율이 p_m 보다 크면 돌연변이를 멈춘다. 돌연변이가 발생한 원소가 포함된 개체가 실현 가능하지 않으면 돌연변이 단계를 계속 수행한다.

단계 5: (종료조건) 종료조건을 만족하면 끝낸다. $s \geq S$ 이면, 단계 2의 (1)에서 기록된 최소비용을 갖는 개체가 갖는 결과가 해가 된다. 이 개체의 비용, 수송시점, 차량경로계획 등이 해가 된다. 그리고 멈춘다. $s < S$ 이면, $s \leftarrow s + 1$ 두고, 단계 2로 간다.

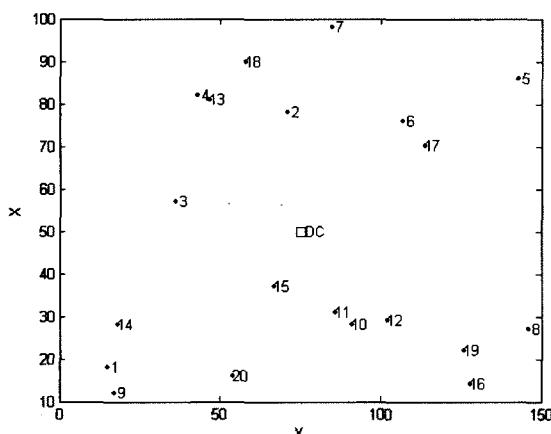
5. 수치적 예제

하나의 물류센터와 20개의 대리점으로 이루어진 그림 2와 같은 물류시스템을 생각한다. 그림에서 □는 물류센터(DC)의 위치를 나타내고 0번으로 하고, 번호 1에서 20까지는 대리점의 위치를 나타낸다. 대리점들이 위치하고 있는 좌표는 가로 150km, 세로 100km인 평면에서 균일하게 임의로 난수를 발생하여 생성된 것이다. 표 1은 그림 1에 있는 대리점의 위치 좌표를 나타낸 것이다. 그리고 물류센터의 위치 좌표는 (75, 50)이다.

이산형 8-기간 모형으로 단위기간은 주로 하며 대리점별 계획기간동안 기간별 수요량은 표 2와 같다. 각 대리점의 수요량은 $[20, 50]$ 사이의 수와 $[0.2, 0.8]$ 사이의 두 개의 수를 임의로 생성하여 곱하여 만들어진 수로 [4, 40]의 범위의 값을 갖는다. 물류센터에서 사용하려는 차량의 수송크기는 100으로 하고, 차량의 수송비용은 250/km 이다. 재고유지비용은 대리점에 관계없이 기간당 개당 500이다.

초기 해 집합의 개체들의 유전자는 난수를 이용하여

임의로 0, 1의 값을 생성하였다. 양의 수송이 이루어지는 시점의 수를 적은 상태에서 시작하기 위해 개체의 전체 유전자 중에서 전체수의 2/3은 0으로 나머지 1/3은 1로 하는 유전자를 임의로 생성하여 초기 해 집합의 개체들을 만들었다.



<그림 2> 물류센터 및 대리점의 배치

<표 1> 대리점의 위치 좌표

대리점	좌표 (X, Y)	대리점	좌표 (X, Y)
1	(15, 18)	2	(71, 78)
3	(36, 57)	4	(43, 82)
5	(143, 86)	6	(107, 76)
7	(85, 98)	8	(146, 27)
9	(17, 12)	10	(91, 28)
11	(86, 31)	12	(102, 29)
13	(47, 81)	14	(18, 28)
15	(67, 37)	16	(128, 14)
17	(114, 70)	18	(58, 90)
19	(126, 22)	20	(54, 16)

한 세대의 개체 수 N , 개체의 원소의 수 L , 세대수 S , 교차율, p_c , 돌연변이율, p_m 는 다음과 같다.

$$N = 20$$

$$L = 160$$

$$S = 160$$

$$p_c = 0.3$$

$$p_m = 0.02$$

선별을 위한 적응도 평가에서 해의 집단에 있는 개체

에 대해 비용을 기준으로 비용이 적은 개체부터 큰 개체의 순서로 나열한 후에 최소 비용을 갖는 개체에 적응도 값으로 50을 부여하고, 다음으로 적은 비용을 갖는 개체에는 48, 다음은 46, 다음은 44의 순서로 2씩 줄이면서 차례로 값을 부여하고, 마지막으로 가장 큰비용을 갖는 개체에는 12를 배정하였다.

<표 2> 대리점의 기간별 수요량

대리점	기 간							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	25	27	14	29	22	13	23	26
2	24	23	20	22	21	33	36	14
3	15	13	14	11	11	5	10	7
4	10	30	15	16	21	29	8	18
5	21	14	26	12	18	11	9	26
6	6	15	14	15	19	18	15	12
7	20	38	31	27	18	20	27	32
8	12	15	11	11	16	11	15	10
9	10	14	19	23	27	25	19	19
10	10	13	9	6	9	10	16	7
11	19	19	17	20	27	15	25	12
12	10	25	14	28	9	24	24	26
13	20	12	12	23	19	9	13	23
14	25	24	23	17	24	8	7	12
15	17	15	13	23	13	20	31	16
16	21	15	11	12	6	23	14	18
17	25	10	12	19	9	27	8	25
18	25	25	13	31	21	19	23	19
19	7	19	16	18	17	10	15	14
20	32	33	25	26	30	21	17	22

Matlab을 사용하여 프로그램을 개발하여 해를 구하였다. 각 세대의 해의 집단에 대한 비용의 평균값을 구한다. 세대가 계속됨에 따라 해의 집단의 평균비용은 각 세대 이전 세대의 값들과 비교하여 증가하기도 하고 감소하기도 한다. 세대 1부터 현 세대까지 평균비용 중에서 가장 적은 비용을 기록한다. 어떠한 세대에서 해의 집단의 평균비용이 현 세대 이전까지의 평균비용보다 적으면 최소 평균비용에 현 세대의 평균비용을 기록하고, 그렇지 않으면 이전까지의 최소비용을 현세대까지의 평균 최소비용으로 한다. 그림 3은 세대별 해의 집단의 평균비용과(그림에서 위쪽선)와 이전세대부터 현세대까지에서 최소 평균비용(그림에서 아래쪽선)을 나타낸다. 가로축은 세대번호를 세로축은 비용을 나타낸다. 그림 3에서 세대번호가 증가하면서 현세대까지 평균 최소비용은

감소하고 있다. 그러나 세대별 평균비용은 세대번호가 증가하면서 증가 또는 감소하기도 하지만 감소하는 추세를 보이고 있음을 나타내고 있다. 그럼 3에서 세대번호 110 전후에서 세대별 평균비용과 현세대까지 최소 평균비용이 같게 나타나고, 그 이후로는 세대별 평균비용은 증가하였다가 감소하기도 하지만 더 이상 현세대까지 최소 평균비용과 같지 않다. 이는 실험 세대를 더 계속 진행할 수도 있지만 160세대 이후에도 해의 개선에 어려울 수 있음을 보여주고 있다. 따라서 160세대까지의 실험에서 가장 좋은 결과를 갖는 개체를 최적해는 아니지만 가장 좋은 해를 갖는 개체로 생각할 수 있을 것이다.

프로그램을 실행할 때마다 그림 3은 다르게 표현된다. 이는 프로그램에서 난수를 사용하고 난수의 발생이 실행할 때마다 다르기 때문이다. 그러나 거의 모든 프로그램 실행에서 세대가 증가함에 따라 평균비용이 감소하는 추세를 보인다. 대부분의 경우에 최소 비용을 갖는 해는 종료세대 훨씬 이전세대에서 존재한다.

160 세대 동안 진행된 실험 중에서 최소비용을 나타내는 개체의 비용은 187,260이고, 세대별 평균비용 중에서 최소평균비용은 220,750이다. 최소비용을 나타내는 개체의 수송시점은 표 3과 같다. 표 3에 나타난 결과를 이용하여 수송량을 결정한다. 표 3에서 1인 시점에서의 수송량은 다음 1인 시점 직전 기간까지의 수요량의 합이고, 0인 시점에서의 수송량은 0이다. 예를 들면, 대리점 1에 수송량은 기간 1에 52, 기간 2에 0, 기간 3에 14, 기간 4에 29, 기간 5에 35, 기간 6에 0, 기간 7에 49, 기간 8에 0임을 의미한다. 표 3에 나타난 결과에 대한 기간별 차량경로계획을 구하면 표4와 같다. 표 4에서 차량 경로계획은 물류센터인 0에서 시작하여 방문할 대리점 번호와 물류센터인 0으로 돌아오는 방문순서를 의미하

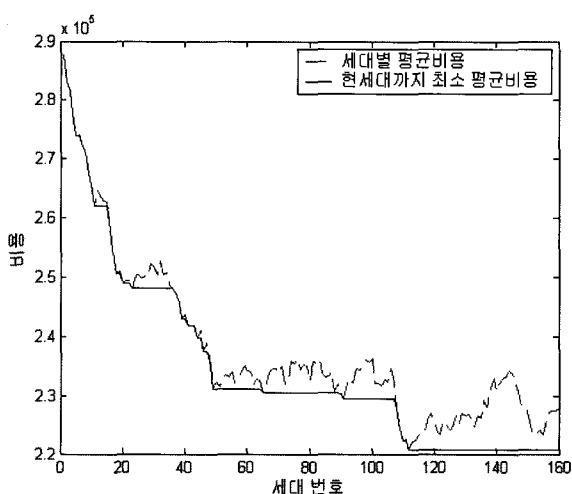
고, 수송량은 차량이 물류센터를 출발할 때 수송해야 할 수량을 의미한다.

<표 3> 대리점별 수송시점

대리점	기간							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0	1	1	1	0	1	0
2	1	0	0	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	0	1
4	1	0	1	1	1	1	1	0
5	1	0	0	1	0	1	0	1
6	1	1	0	1	0	0	1	0
7	1	1	1	1	0	1	0	1
8	1	1	1	1	1	0	1	0
9	1	1	1	1	1	0	1	1
10	1	1	0	0	0	0	1	1
11	1	1	1	1	0	0	0	1
12	1	0	1	0	0	1	1	0
13	1	1	0	0	1	0	1	1
14	1	1	0	1	1	1	1	1
15	1	0	1	0	1	0	1	1
16	1	0	1	0	1	1	0	0
17	1	1	0	1	1	0	1	0
18	1	1	1	0	0	1	0	1
19	1	0	0	1	1	1	1	0
20	1	0	1	1	1	0	1	

이러한 물류시스템의 수송계획 문제는 대리점의 수와 기간의 수 등과 같은 요소의 규모가 커지면 최적해를 구하는데 많은 시간이 소요되고 어렵다. 여기서는 최적해를 구하지 않아 정확한 최적해는 알 수 없다. 그러나 그림 3을 통하여 알 수 있듯이 최적해에 근접한 해를 구할 수 있을 정도의 충분한 세대를 진행했고, 해가 수렴하고 있다고 판단할 수 있기 때문에 여기서 구한 해가 최적해인지의 여부를 확인할 수는 없지만 최적해에 근접한 해가 될 수 있을 것이다.

일반적으로 경제적 발주량을 구하는 모형에서 발주량에 대한 비용함수는 최적 발주량 주변에서 아래로 완만한 볼록한 구조를 갖는다. 이는 최적해 주변의 발주량에 대한 재고비용은 최적 발주량의 재고비용에 비해 차이가 크지 않음을 의미한다. 여기서도 수송계획에 대한 비용에서 최소비용을 갖는 해 주변에서 아래로 완만하게 볼록한 구조로 최적 수송계획 주변에서는 비용변화가 완만할 것이다. 최소비용 187,260은 160 세대의 진행을 통하여 가장 좋은 결과를 나타내는 개체의 비용으로서 이 개체의 수송계획은 최적 수송계획에 근접한 해가 될 것이다.



<그림 3> 세대별 평균비용 및 현세대까지 최소 평균비용

<표 4> 기간별 차량경로계획

기간	차량경로계획	수송량
1	0 - 9 - 1 - 14 - 0	87
	0 - 19 - 16 - 8 - 0	100
	0 - 17 - 5 - 6 - 0	92
	0 - 3 - 13 - 4 - 18 - 0	100
	0 - 7 - 2 - 0	87
	0 - 12 - 10 - 11 - 0	64
2	0 - 15 - 20 - 0	97
	0 - 3 - 14 - 9 - 0	74
	0 - 8 - 17 - 6 - 0	66
	0 - 18 - 13 - 0	72
	0 - 11 - 10 - 0	66
3	0 - 7 - 0	38
	0 - 11 - 20 - 9 - 1 - 3 - 0	89
	0 - 12 - 16 - 8 - 0	85
	0 - 18 - 4 - 0	80
4	0 - 15 - 7 - 0	67
	0 - 20 - 9 - 1 - 14 - 0	95
	0 - 17 - 5 - 8 - 19 - 0	78
	0 - 7 - 6 - 0	97
	0 - 3 - 4 - 2 - 0	49
5	0 - 11 - 0	87
	0 - 9 - 1 - 0	86
	0 - 19 - 17 - 8 - 17 - 0	70
	0 - 2 - 13 - 4 - 0	98
6	0 - 15 - 20 - 14 - 3 - 0	85
	0 - 5 - 19 - 16 - 0	71
	0 - 18 - 4 - 0	85
	0 - 7 - 2 - 0	80
7	0 - 9 - 1 - 14 - 0	75
	0 - 8 - 19 - 0	54
	0 - 2 - 13 - 4 - 0	75
	0 - 17 - 6 - 0	60
	0 - 12 - 10 - 15 - 0	97
8	0 - 3 - 14 - 9 - 20 - 15 - 0	76
	0 - 2 - 18 - 13 - 0	56
	0 - 7 - 5 - 11 - 10 - 0	77

6. 결 론

본 논문에서는 하나의 물류센터와 다수의 대리점으로 이루어진 물류시스템에서 물류센터에서 대리점으로 제품을 수송할 때 수송비용과 대리점에서 제품을 보관할 때 재고비용을 합한 물류비용을 최소화하는 수송계획을 구하는 문제를 연구하였다. 수송계획으로 물류센터에서 대리점으로 제품의 수송시점과 수송량을 구하였고, 또한 기간별 차량경로계획을 구하였다. 시간은 이산형 유한기간이고, 대리점의 수요는 동적이고 확정적인 모형을 다루었다. 해를 구하는 알고리듬으로 유전 알고리듬을 사용하였다.

이 논문에서 물류센터에서 대리점으로 제품을 수송할 때 물류비용을 고려하여 경제적인 의사결정을 하는 방법을 제시하였다. 연구결과는 물류시스템에서 수송계획과 통제 문제에 적용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Baker, K.R. "Lot-sizing procedures and a standard data set: a reconciliation of the literature," *J. of Manufacturing and Operations Management*, 2, 199-221, 1989
- [2] Ballou, R. H., *Business Logistics Management*, 4th edition, Prentice-Hall, Inc, 1999
- [3] Bramel, J. and Simchi-Levi, D., *The logic of logistics*, Springer-Verlag New York, Inc, 1997
- [4] Bertsimas, D. and Simchi-Levi, D., "The new generation of vehicle routing research: robust algorithms addressing uncertainty." *Operations Research*, Vol.44, 286-304, 1995
- [5] Chien, T.W., Balakrishnan, A. and Wong, R. T., "An integrated inventory allocation and vehicle routing problem," *Transportation Science*, Vol. 23, 67-76, 1989
- [6] Christofides, N., "Vehicle routing, In *The Traveling Salesman Problem: a Guided Tour of Combinatorial Optimization*, Lawler, E. L., J. K. Lenstra, A. H. G. Rinnooy Kan and D.B. Shmoys(eds), John Wiley & Sons Ltd., New York, 431-448, 1985
- [7] Chopra, S. and Meindl, P., *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2001
- [8] Clarke, G. and Wright, J.W., "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points," *Operations Research*, Vol. 12, 568-581, 1964
- [9] Daganzo, G. F., *Logistics Systems Analysis*, Springer, 1999
- [10] Dror, M. and Ball, M., "Inventory/Routing: Reduction from an annual to short-period problem", *Naval Research Logistics*, Vol. 34, 891-905, 1987
- [11] Dror, M., Ball, M. and Golden, B., "A computational comparison of algorithms the inventory routing problem," *Ann. Operations Research*, Vol. 4, 3-23, 1996
- [12] Erenguc, S.S., Simpson, N.C., and Vakharia, A.J. "Integrated Production/Distribution Planning in Supply Chains: An Invited Review", *European J. of Operational Research*, 115, 219-236, 1999

- [13] Fisher M.L., Vehicle Routing. In *Handbook in Operations Research and Management Science*, the volume on Network Routing, Ball, M., T. L. Magnanti, C.L. Monma and G. L. Nemhauser (eds), North-Holland, Amsterdam, 1-33, 1995
- [14] Gillett, B.E. and Miller, L.R., "A heuristic algorithm for the vehicle dispatching problem," *Operations Research*, Vol. 22, 340-349, 1973
- [15] Golden, B.L., Assad, A. and Dahl, R., "Analysis of a large scale vehicle routing problem with inventory component," *Large Scale System*, Vol. 7, 181-190, 1984
- [16] Kasilingam, R.G., *Logistics and Transportation: design and planning*, Kluwer academic publishers, 1998
- [17] McGavin, E., Schwarz, L.B. and Ward, J., "Two-interval inventory-allocation policies in a one-warehouse N-identical-retailer distribution system," *Management Science*, Vol. 39, 1092- 1107, 1993
- [18] Michalewicz, Z., *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, 3rd ed., AI series, New York: Springer-Verlag, 1996
- [19] Goldberg, D. E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley, 1989
- [20] Holland, J. H., *Adaptation in Neural and Artificial Systems*, 2nd ed., Ann Arbor, MI: University of Michigan Press, 1992
- [21] Silver, E.A. and Meal, H.C., "A heuristic for selecting lot size requirements for the case of a deterministic time-varying demand rate and discrete opportunities for replenishment," *Production and Inventory Management*, 14, 64-74, 1973
- [22] Wagner, H.M., and T.M. Whitin, "Dynamic version of the economic lot size model," *Management Science*, 5, 89-96, 1958
- [23] Zangwill, W.I., "A deterministic multi-period production scheduling model with backlogging," *Management Science*, 13, 105-119, 1966