

유전 알고리듬을 이용한 무인운반차시스템의 운반경로 결정

장석화

인천대학교 산업공학과

Determination of Guide Path of AGVs Using Genetic Algorithm

Suk-Hwa Chang

Dept. of Industrial Engineering, University of Incheon

This study develops an efficient heuristic which is based on genetic approach for AGVs flow path layout problem. The suggested solution approach uses a algorithm to replace two 0-1 integer programming models and a branch-and-bound search algorithm. Genetic algorithms are a class of heuristic and optimization techniques that imitate the natural selection and evolutionary process. The solution is to determine the flow direction of line in network AGVs. The encoding of the solutions into binary strings is presented, as well as the genetic operators used by the algorithm. Genetic algorithm procedure is suggested, and a simple illustrative example is shown to explain the procedure.

Keywords : AGVs, Guide Path, Genetic Algorithm

1. 서언

제조시스템에서 총 운영비용의 15-70%는 물류흐름 처리와 관련된 비용으로 평가되고 있다. 그리고 효율적인 설비설계와 계획은 적어도 10-30%의 비용을 절감할 수 있는 것으로 인식되고 있다 [13]. 그러므로 물류흐름과 관련된 문제는 비용절감을 위한 공장운영의 중요한 부분이다.

유연제조시스템에서 작업물의 운반수단으로 무인운반차시스템(Automated Guided Vehicle system(AGVs))이 많이 이용되고 있다. 이는 무인운반차시스템이 필요한 위치에 필요한 작업물을 이동시키는데 있어서 유연성이 뛰어나기 때문이다. 제조시스템에서 공정순서가 다른 여러 종류의 작업물을 동시에 가공하는데 있어서 작업물의 공정에 따라 거치게 되는 작업장의 순서가 다르기 때문에 유연성이 우수한 운반수단이 필요하다. 작업물의 운반방법으로 무인운반차시스템을 이용할 경우에 여러 작업장을 연결하는 방법으로 크게 단일루프(single-loop) 구조, 네트워크(network) 구조, 그리고 직렬(tandem) 구조 등이 있다. 단일루프 구조는 모든 작업장

이 하나의 루프에 의해 연결될 수 있도록 하는 방법이다.

네트워크(network) 구조는 그림 1과 같이 모든 작업장들에 대하여 작업장의 pickup 점에서 delivery 점으로 한번의 운반에 의해 도달할 수 있도록 모든 작업장을 네트워크형태로 연결하는 방법이다. 네트워크(network) 방법은 여러 운반차가 동시에 이용되고, 모든 운반차는 필요에 따라 어떠한 작업장에도 도달할 수 있고 서비스할 수 있도록 허용되는 것이다.

네트워크 구조에서 작업물의 운반거리 또는 운반시간을 줄일 수 있는 방법을 생각할 수 있다. 네트워크에서 선의 이동방향을 결정하는 것은 작업물의 운반시간을 줄일 수 있는 방법들 중의 하나이다. 선의 방향에 따라서 운반차의 운반시간이 다르고, 이는 운반차의 성과에 영향을 줄 수 있기 때문에, 작업물의 운반시간에 비례하는 운반거리를 최소화 할 수 있도록 네트워크에서 선의 이동방향을 결정한다. 네트워크에서 선의 이동방향은 주어진 모든 작업물을 생산완료하기까지 발생하는 총 운반거리를 최소화하도록 결정해야 한다. 문제의 해를 구하는데 있어 기존 접근법이 아닌 유전 알고리듬을 적용하는 방법을 개발한다.

1	2	3
4	5	6

<그림 1> 네트워크 구조 시스템

2. 연구배경

제조시스템에서 작업장사이에 작업물 운반방법으로 무인운반차시스템(AGVs)을 이용하는 경우에 네트워크(network) 구조, 단일루프 구조, 직렬구조 등이 있다. 네트워크 구조로 구축하는 경우에 주로 연구된 내용은 운반차의 이동경로 결정, 필요한 최소 운반차의 수, 운반차의 dispatching 규칙, 교차로에서의 통제, pickup/delivery 점의 위치, 운반차의 단위부하의 크기 결정 등이 있다 ([3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [14]). 네트워크 방법은 한번의 운반으로 목적지의 작업장으로 이동할 수 있지만, 많은 운반차가 동일한 작업장에서 운영되기 때문에 운반차의 dispatching 규칙, 교차로에서의 충돌 등 통제문제에 어려움이 발생하고 있다. 이러한 통제문제를 해결하기 위하여 여러 개의 중첩되지 않는 단일루프(single-loop)로 나누고, 각 루프에 하나의 운반차를 할당하여 구축한 직렬 구조방법을 제시하고 있다[2].

Gaskins와 Tanchoco[6]은 네트워크 구조의 AGV 경로 배치 문제를 0-1 정수계획 프로그램으로 모형을 나타내었다. 총 운반거리를 최소화하는 것을 목적함수로 하여 네트워크 구조에서 선의 이동방향을 결정하는 것을 연구하였다. Kaspi와 Tanchoco[7]은 문제를 다른 방식의 모형으로 기술하고, 분지한계기법에 바탕을 둔 계산상의 효율적인 절차를 제안하였다.

유전 알고리듬은 메타 휴리스틱 방법의 하나로 대형 수리계획법을 푸는데 효과적인 방법으로 알려져 왔고, 많은 문제를 해결하는데 이용되어 왔다[1]. Sinreich와 Samarkh[15]은 유전 알고리듬을 이용하여 각 작업장에서 가능한 여러 pickup 및 delivery 위치 후보들 중에서 운반거리를 줄일 수 있는 pickup 및 delivery 위치를 선택하는 문제를 연구하였다.

본 논문에서는 네트워크 구조인 무인운반차 제조시스템에서 시스템의 성과와 밀접한 관련이 있는 작업물의 운반시간을 줄이기 위한 방안으로 네트워크에서의 선의 이동방향을 구하는 새로운 알고리듬을 개발한다. 기존의 연구에서는 해를 구하는 절차로 0-1 정수계획을 적용하거나 분지한계기법을 적용하였다. 여기서는 선의 이동방

향을 구하는 절차로 유전 알고리듬을 이용한다. 유전 알고리듬은 휴리스틱 기법의 하나로 최적화 문제의 해를 구하는데 효과적인 방법으로 평가되고 있다. 특히 대형 수리계획 문제에 대한 최적화문제를 해결하는데 효과적이다.

3. 모형 기술

네트워크 구조의 무인운반차시스템에서 흐름경로 배치문제의 목적은 흐름경로 네트워크에서 각 선의 흐름 방향을 발견하는 것이다. 흐름경로 네트워크는 pick-up/delivery 점의 위치, 통로교차 위치, 제조설비내의 통로 등을 나타낸다. 각 통로를 따라 단일방향을 가정한다.

네트워크는 선과 마디로 나타낸다. 마디는 pickup 점, delivery 점, 선 교차점을 나타내고, 선은 인접하고 있는 마디를 연결하는 것으로 가능한 선의 방향을 나타낸다. 선의 길이는 연결된 마디사이의 거리를 나타낸다. Pickup 점과 delivery 점 사이의 흐름률은 from-to-차트로 표현된다. 모든 pickup 점과 delivery 점 사이의 흐름량에 대한 이동거리를 최소화하도록 네트워크에서 선의 흐름 방향을 결정한다. 이를 위해 부호를 정의한다.

- l = pickup 점을 나타내는 첨자
 m = delivery 점을 나타내는 첨자
 i, j = 네트워크에서 pickup/delivery 점을 포함하여
 마디를 나타내는 첨자
 f_{lm} = pickup 점 l 에서 delivery점 m 으로 흐름량
 d_{ij} = 네트워크에서 인접하고 있는 마디 i 에서 마
 디 j 까지 거리
 Y_{lm} = pickup 점 l 에서 delivery점 m 까지 최단 운반
 거리
 $X_{ijlm} = 1$, pickup 점 l 에서 delivery점 m 까지 운반
 에 선 (i, j) 가 포함되면, 0, 그렇지 않으면
 $Z_{ij} = 1$, 선의 이동방향이 마디 i 에서 마디 j 의 방
 향 이면, 0, 그렇지 않으면

주어진 모든 작업물을 pickup 점에서 delivery 점으로 운반하는데 발생하는 총 운반거리를 최소화하도록 네트워크에서 선의 단일 흐름방향을 결정하고, 각 pickup 점에서 delivery 점까지의 이동경로를 구하는 수리적 모형을 다음과 같이 나타낸다.

$$\text{Minimize } Z = \sum_l \sum_m f_{lm} Y_{lm} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

subject to

$$X_{ijlm} \leq Z_{ij}, \quad \forall l, m, \quad \forall i, j \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

$$\sum_k X_{lklm} = 1, \quad \forall l, m \quad \dots \quad (7)$$

$$\sum X_{iilm} = \sum X_{iklm}, \quad \forall l, m, \quad \forall j \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

모형에서 제약식 (2)은 pickup 점 l 에서 delivery 점 m 까지 경로길이를 나타내고, 제약식(3)은 pickup 점 l 에서 delivery 점 m 까지 경로가 실현 가능하도록 하기 위해 나타내고, 제약식 (4)은 선의 반향이 단일방향임을 나타내고, 제약식 (5)은 마디에서 들어가는 방향의 선이 적어도 1개 이상임을 나타내고, 제약식 (6)은 마디에서 나오는 방향의 선이 적어도 1개 이상임을 나타내고, 제약식 (7)은 pickup 점 l 에서 delivery 점 m 까지 경로를 사용하면서 pickup 점 l 에서 나가는 선이 1개임을 나타내고, 제약식 (8)은 pickup 점 l 에서 delivery 점 m 까지 경로를 사용하면서 delivery 점 m 에 들어가는 선이 1개임을 나타내고, 제약식 (9)은 pickup 점 l 에서 delivery 점 m 까지 최단경로에 있는 마디에 대해 들어가는 선의 수와 나가는 선의 수가 동일함을 나타낸다. 그리고 제약식 (10)과 (11)는 변수의 값의 범위가 0, 1임을 나타낸다.

이 수리적 모형은 0, 1 정수계획모형이다. 이 모형에 대한 해를 0-1 정수계획 또는 분지한계기법을 사용한 알고리듬으로 구할 수 있다. 분지한계기법을 이용한 연구는 Kaspi와 Tanchoco[7]에 의해 연구되었다. 본 논문에서는 이 방법이 아닌 유전 알고리듬을 이용한 해법을 제시하려고 한다. 다음 부분에서는 유전 알고리듬을 이용한 해법을 설명한다.

4. 유전 알고리듬

유전 알고리듬은 1970년대 말에 개발되어 여러 분야에서 대형 문제를 해결하는데 효과적으로 이용되고 있다. 자연에서, 생물학적인 구조는 환경에 잘 적응하면서 더 넓은 성과를 주는 방향으로 점진적으로 수정되어 왔다.

다. 유전 알고리듬(genetic algorithm)은 자연선택과 진화 과정을 모방한 발견적 탐색 및 최적화 기법의 부류이다. 유전 알고리듬의 기본개념은 Holland[18]에 의해 제시되었다. Goldberg[17]은 유전 알고리듬이 유연성, 견고함, 효율성 등에서 기존 탐색절차와 다르다고 제시하였다. 유전 알고리듬을 설명을 위한 부호를 정의한다.

i, j = 마디 번호를 나타내는 첨자

A_j = 마디 j 에 연결된 선의 집합으로 이 집합에 있는 선은 점 j 에서 시작하여 다른점으로 나가는 방향으로 표현한다.

$x_{ij} = 1$, 선의 방향이 점 i 에서 점 j 임

0, 선의 반향이 점 j 에서 점 i 임

t = 세대를 나타내는 첨자

T = 세대 수

$P(t)$ = 세대 t 에서 해의 집단의 집합

N = 해의 접단에 있는 개체의 수
I = 대체로 그림을 그리는 대체로 하는 일정 수

개재여
교차우

P_c = 전면

문제에 대한 개체를 염색체 또는 스트링으로 부르고, 염색체의 길이 L 은 (x_1, x_2, \dots, x_L) 의 형태로 나타내며, 여기서 x_i 는 유전자를 의미한다. 특별한 해에서 유전자의 값은 대립유전자이다. x_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. 교자는 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. 벌칙방법, 수리 알고리즘과 같은 제약을 다루는 다른 접근법이 Michalewicz[16]에서 제안되었다.

인접하고 있는 두 마디 i 와 j 의 사이에 있는 동일한 선을 방향에 따라 x_{ij} 와 x_{ji} 로 나타낸다. 선의 이동방향

에 따라 변수는 0, 1로 나타낸다. 본 논문에서는 해의 집단에 있는 개체인 염색체의 원소로 선의 방향을 나타내는 x_{ij} 를 사용한다. 네트워크를 이루는 선을 개체의 원소로 하고, 개체는 모든 선을 포함한 스트링이다. 개체인 염색체를 구성하는 유전자의 수는 선의 수와 일치한다.

어떠한 선 x_{ij} 와 x_{ji} 는 점 i 와 점 j 을 포함하고 있다. 그러나 x_{ij} 는 집합 A_i 의 구성요소이고, x_{ji} 는 A_j 의 구성요소이다. 동일한 선을 나타내는 이 구성요소 x_{ij} 와 x_{ji} 는 두 집합에서 각각 다르게 표현된다. 두 변수 x_{ij} 와 x_{ji} 사이의 관계는 선이 단일방향이기 때문에 $x_{ij} + x_{ji} = 1$ 이 성립해야 한다. 선 x_{ij} 와 x_{ji} 가 각각 집합 A_i 과 A_j 의 구성원이라 하면, 어떠한 염색체에서 $x_{ij} = 1$ 로 생성되면, $x_{ji} = 0$ 이 되게 되고, 반대로 $x_{ij} = 0$ 이 생성되면, $x_{ji} = 1$ 이 된다. 그리고 집합 A_i 의 원소 $x_{ij} = 1$ 이 되면, 반드시 집합 A_j 의 원소 $x_{ji} = 0$ 이 된다. 반대로 집합 A_i 의 원소 $x_{ij} = 0$ 이 되면, 집합 A_2 의 원소 $x_{ji} = 1$ 이 된다.

점 j 을 지나는 선의 집합 A_j 에 원소의 수가 n ($n \geq 2$) 개가 있으면, 점 j 을 기준으로 이 점에 연결된 선의 방향이 실현가능하려면 변수는 다음의 식 (12)을 만족하여야 한다.

마지 j 을 구성하는 선의 실현가능 조건 :

$$1 \leq \sum_{x_{ji} \in A_j} x_{ji} \leq n - 1, \quad \forall j \quad \dots \dots \dots \quad (12)$$

네트워크를 구성하는 선에 대해 차례로 순서를 정하여 이 정해진 순서를 염색체로 한다. 선을 나타내는 변수가 x_{ij} 와 x_{ji} 와 같이 두 개가 있지만 이중에서 $i < j$ 인 x_{ij} 를 유전자로 한다. 염색체가 실현가능하기 위해서는 식 (12)과 $x_{ij} + x_{ji} = 1$ 을 만족해야 하며, 식 (13)과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} G = \{ x_{ij} \mid 1 \leq \sum_{x_{ji} \in A_j} x_{ji} \leq n - 1, \quad \forall j \text{ and} \\ x_{ij} + x_{ji} = 1 \text{ and } i < j, \quad \forall i, j \} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

선의 수가 10개일 때 $(1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0)$ 은 선의 이동방향을 나타내는 염색체의 예가 될 수 있을 것이다.

4.1 초기 해의 집단

시점 $t=0$ 에서 초기 해의 집단 $P(t)$ 을 만든다. $P(t)$

에 있는 개체에 대해 염색체의 유전자들에 동일한 확률로 0, 1을 임으로 할당하여 만든다. 만들어진 개체가 실현가능한지를 확인하여 실현가능하면 해의 집단 $P(t)$ 에 넣고, 실현가능하지 않으면 이 염색체를 삭제하고 다시 생성하여 실현가능할 때까지 염색체를 생산한다. 실현가능한 개체의 수가 N 개가 될 때까지 만든다.

4.2 적응도 평가

해의 평가 값은 해의 집단에 있는 각 염색체에 나타난 형태로 네트워크의 선의 방향이 결정될 때 모든 pickup 위치에서 delivery 위치까지 이동한 총 운반거리를 적용한다. 해의 집단에 있는 개체의 선의 방향이 실현가능하면 운반거리는 식 (14)과 같이 나타내고, 선의 방향이 실현가능하지 않으면 운반거리는 실현가능한 개체의 운반거리에 비해 큰 임의의 양의 상수로 식 (15)과 같이 나타낼 수 있다. 그러나 해의 집단에 있는 개체를 실현 가능한 해로만 구성하여 사용하면 운반거리는 식 (14)만을 사용하고, 이 운반거리를 적응도 값을 부여하는데 이용한다.

$$f = \sum_l \sum_m \sum_i \sum_j f_{lm} X_{ijlm} d_{ij}, \quad \text{해가 실현가능하면} \dots \dots \dots \quad (14)$$

$$f = M, \quad \text{해가 실현가능하지 않으면} \dots \dots \dots \quad (15)$$

여기서 $\sum_i \sum_j X_{ijlm} d_{ij}$ 은 네트워크의 선 Z_{ij} 의 방향이 결정되면, pickup 점 l 에서 delivery 점 m 까지 최단 운반거리를 나타내고, 그리고 f 는 해에 대한 운반거리를 나타낸다. 그리고 M 은 임의의 큰 양의 상수를 나타낸다.

이 운반거리 f 는 적을수록 적응도가 우수한 것으로 한다. 본 논문에서는 해의 집단에 있는 개체를 실현가능한 해로만 구성한다. 따라서 여기서는 운반거리 함수는 식 (14)과 같은 형태가 된다. 해의 집단에 있는 모든 개체에 대해 운반거리를 계산하여 적응도 값을 부여하고, 선별확률을 평가하고 선별과정을 따라 다음 자손을 생산한다. 여기서는 해의 집단에 있는 개체에 대해 운반거리 f 는 수치가 크고, 개체사이의 f 값에 차이가 크지 않을 경우에 개체 사이의 우열을 가리기 위해 f 에 운반거리 대신에 새로운 값을 부여하여 적응도 값으로 한다. 각 개체에 대해 선별하기 위한 적응도 값을 부여하기 위해 식 (14)에 있는 운반거리 f 를 반영하여 새로이 적응도 값을 만든다.

운반거리를 기준으로 하여 해의 집단에서 운반거리가 적은 개체에서 큰 값의 개체의 순서로 새로운 적응도 값을 부여하고, 이 값을 이용하여 순위에 따른 확률을 부여한다. 운반거리가 가장 적게 나타난 개체에 적응도 값을 부여한다.

값 a 을 부여하고, 운반거리가 가장 긴 개체에 적응도 값 b 을 부여한 후에, 중간에 있는 개체에는 $(a - b)/(N-1)$ 의 간격으로 차례로 적응도 값을 부여한다. 운반거리가 가장 적은 개체에 a 을 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 선별확률을 정한다. 이 선별확률을 자손을 생산하기 위하여 교차를 행하기 위한 부모를 선택하는데 사용한다.

4.3 교 차

난수를 발생시켜 해의 집단의 개체 중에서 교차를 위한 후보자를 선택한다. 두 개체를 선택하여 교차한다. 교차는 1점 또는 2점 교차 등 여러 가지 방법을 이용할 수 있다. 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. 여기서는 1점 교차를 사용한다. 예를 들면, P1, P2의 두 염색체를 선택하여 | 표시된 부문을 기준으로 1점 교차를 행하면 다음과 같은 자손 C1, C2가 생산된다.

$$P1 = (0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \mid 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1)$$

$$P2 = (1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \mid 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0)$$

$$C1 = (0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \mid 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0)$$

$$C2 = (1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \mid 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1)$$

예에서 1점 교차점의 위치는 5번째와 6번째에서 발생하였다. 1점 교차의 위치는 염색체 순서 2번째와 9번째 사이의 어느 위치에서도 발생할 수 있다. 교차를 통하여 만들어진 자손 개체에 대하여 선의 실현가능조건을 적용하여 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 $[p_c N]^+$ ($p_c N$ 보다 적지 않으며 가장 적은 짹수)개가 될 때까지 반복한다.

4.4 돌연변이

돌연변이는 새로 생성된 해의 집단에 대해 모든 염색

체의 원소인 유전자에 번호를 차례로 부여하고, 난수를 발생시켜 난수에 해당하는 유전자의 값을 변화시킨다. 유전자가 0이면 1, 1이면 0으로 변화시킨다. 이 변화된 개체에 대하여 선의 실현가능조건을 적용하여 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. 돌연변이가 발생된 원소의 수가 $[p_m N]^+$ ($p_m N$ 보다 적지 않으며 가장 적은 정수)개가 될 때까지 반복한다.

4.5 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 최적화 과정에서 발견한 가장 좋은 해를 찾는다.

4.6 유전 알고리듬 절차

단계 1 : (초기 해의 집단) $t=0$ 을 두고, 실현가능한 해의 집단 $P(t)$ 을 임의로 생성한다.
 a, b, N, L, T, p_c, p_m 의 값을 준다.

단계 2 : (적응도 평가) 해의 집단 $P(t)$ 에 있는 모든 개체의 적응도를 평가한다.

- (1) $P(t)$ 에 있는 모든 개체의 평균운반거리를 구하고 기록한다. 이 평균운반거리가 이전 세대까지의 평균 운반거리보다 적으면 이 평균운반거리와 세대 t 을 기록하고, 그렇지 않으면 이전 기록을 보존한다.
- (2) 적응도 평가는 해의 집단에 있는 모든 개체에 대하여 운반거리가 적은 개체에서 큰 개체의 순서로 정렬한 후 순위선별 방식으로 적응도 값을 부여한다. 즉 운반거리가 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 차례로 해의 집단에 있는 모든 개체에 차례로 부여한다. 가장 긴 운반거리를 갖는 개체에는 b 을 부여한다. 해의 집단에 있는 모든 개체의 적응도 값의 합을 구하고, 각 개체의 적응도

값을 이 적응도 값의 합으로 나누어 각 개체의 선별 확률을 정한다.

단계 3 : (선별 및 교차)

- (1) $P(t)$ 의 개체를 모두 $P(t+1)$ 에 넣는다.
 - (2) $[0, 1]$ 사이의 난수를 발생시켜 $P(t)$ 에 있는 두개의 개체를 선별한다. 선택한 두 개체를 교차하는 개체로 둔다.
 - (3) 두 개체를 교차하여 두 자손을 생산한다. 두 자손이 실현 가능하면 $P(t)$ 에서 교차된 부모 개체와 동일한 위치의 개체를 $P(t+1)$ 에서 제거하고, 대신 생산된 자손을 $P(t+1)$ 에 넣는다. 실현가능하지 않으면, 교차단계 (2)를 다시 수행한다. 교차된 개체의 비율을 구하여 비율이 p_c 보다 크면 다음 단계로 가고, 비율이 p_c 보다 적으면 선별 및 교차 단계의 (2)를 계속 수행한다.

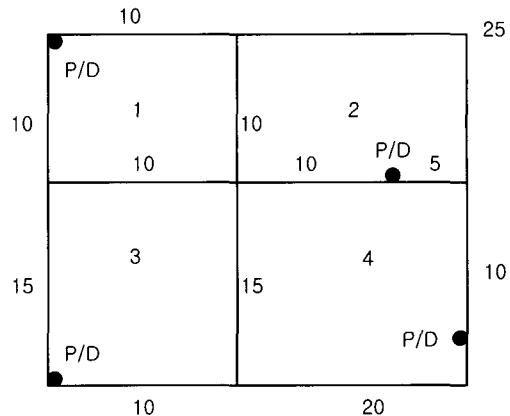
단계 4 : (돌연변이) $P(t+1)$ 의 개체를 돌연변이 시킨다. 개체의 각 원소에 대해 $[0, 1]$ 사이의 난수를 발생시켜 난수에 해당하는 개체의 원소를 돌연변이 시킨다. 돌연변이가 발생한 원소가 포함된 개체가 실현가능하면 이를 $P(t+1)$ 에 두고, 돌연변이가 행해진 비율을 구하고, 이 비율이 p_m 보다 적으면 계속하여 새로운 돌연변이를 수행하고, 이 비율이 p_m 보다 크면 돌연변이를 멈춘다. 돌연변이가 발생한 원소가 포함된 개체가 실현가능하지 않으면 돌연변이 단계를 계속 수행한다.

단계 5 : (종료조건) 종료조건을 만족하면 끝낸다.
 $t \geq T$ 이면, 멈춘다. $t < T$ 이면, $t \leftarrow t+1$ 두고,
 단계 2로 간다.

5. 수치적 예제

제조시스템의 무인운반차시스템은 그림 2와 같이 4개의 작업장을 연결하는 네트워크구조이다. 그림에서 나누어진 4개 부분의 가운데 있는 숫자가 작업장 번호를 나타내고, 그리고 선에 있는 검은 점(●)은 각 작업장에서의 pickup/delivery(P/D) 위치를 나타내며, 각 작업장에는 동일한 위치에 pickup/delivery(P/D) 점이 하나씩 있다. 네트워크에서 마디는 pickup/delivery 위치와 서로 다른 두 개의 선이 만나는 교차점으로 9개가 있고, 선은 인접하고 있는 마디를 연결하는 것으로 12개가 있다. 그림에서 작업장 2의 오른쪽 위부분의 선이 겹친 위치는 마디가 아니다. 마찬가지로 작업장 4의 오른쪽 아래부분의 선이 겹친 부분도 마디가 아니다. 그림에서 선의 옆에 있는

수는 마디 사이의 거리를 나타내는 것으로 단위는 m이다. 작업장 사이에 운반되어야 할 흐름량은 표 1과 같다. 운반거리를 최소로 할 수 있도록 네트워크에서 선의 방향을 결정하려고 한다. 여기서 제시된 유전 알고리듬을 반영한 프로그램을 개발하여 해를 구한다.



<그림 2> 무인운반차시스템의 배치

<표 1> pickup점에서 delivery점으로 흐름량

from \ to	1	2	3	4
1	-	10	15	0
2	5	-	10	20
3	10	5	-	15
4	15	10	0	-

제시된 예제에 대한 개발된 유전 알고리듬을 적용하여 해를 구하기 위해 매개변수 값을 다음과 같이 정의한다.

해의 집단의 크기, $N = 20$

교차율, $p_c = 0.25$

돌연변이율, $p_m = 0.02$

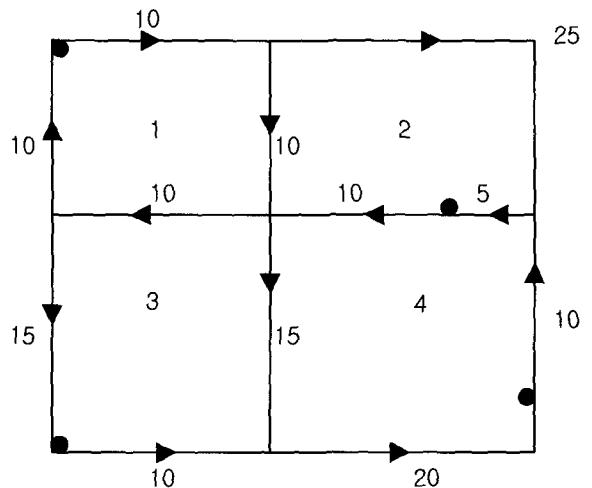
세대수, $T = 70$

그림 2에서 마디 수는 9개이고, 선의 수는 12개이다. 해에서 개체의 길이 $L=12$ 이다. 선별을 위한 적응도 평가에서 해의 집단에 있는 개체에 대해 운반거리를 기준으로 운반거리가 짧은 개체부터 긴 개체의 순서로 나열한 후에 최저의 운반거리를 갖는 개체에 적응도 값으로 10을 부여하고, 다음으로 적은 운반거리를 갖는 개체에는 9.75, 다음은 9.50, 다음은 9.25의 순서로 0.25씩 줄이며 차례로 값을 부여하고, 마지막으로 가장 긴 운반거리를 갖는 개체에는 5.25를 배정하였다.

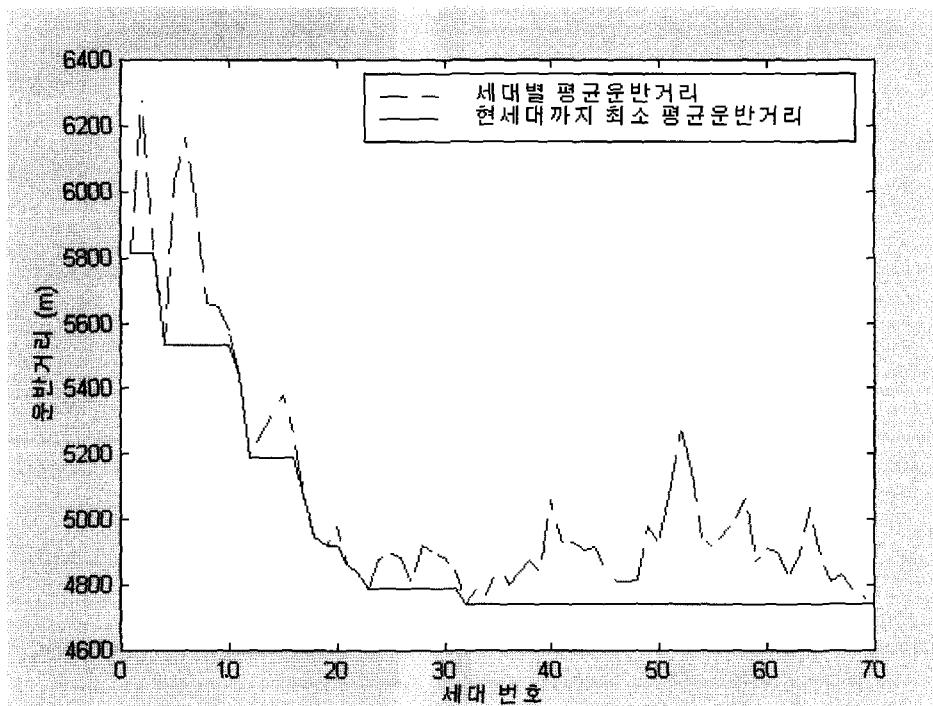
Matlab으로 프로그램을 개발하여 각 세대의 해의 집단에 대한 운반거리를 평균값을 구하였다. 세대를 진행하며 해의 집단의 세대별 평균운반거리와 현세대까지 평균 최소운반거리를 구하였다. 현세대는 세대번호에 해당하는 세대를 의미하는 것으로, 현세대에서 해의 집단의 평균운반거리가 현 세대 이전까지의 평균운반거리보다 적으면 최소 평균운반거리에 현 세대의 평균운반거리를 기록하고, 그렇지 않으면 이전까지의 최소운반거리를 현 세대까지의 평균 최소운반거리로 한다. 그림 3은 세대별 해의 집단의 평균운반거리(그림에서 위쪽선)와 이전세대부터 현세대까지의 최소 평균운반거리(그림에서 아래쪽선)를 나타낸다. 가로축은 세대번호를 세로축은 운반거리를 나타낸다. 그림 3에서 세대가 증가함에 따라 현세대까지 평균 최소운반거리는 계속하여 감소하고 있다. 그러나 세대가 진행됨에 따라 세대별 평균운반거리는 증가 또는 감소하는 등 변동하고 있음을 나타내고 있다. 프로그램을 실행할 때마다 그림 3은 다르게 표현된다. 이는 프로그램에서 난수를 사용하고 발생된 난수가 실행할 때마다 다르기 때문이다. 모든 프로그램 실행에서 세대가 증가함에 따라 운반거리는 감소하는 추세를 보였다. 평균 최소운반거리를 갖는 해의 집단 중에서 최소운반거리를 갖는 개체의 해가 최적해가 된다. 대부분의 경우에 최적해는 종료세대 훨씬 이전세대에서 존재하였다.

세대수가 70일 때까지 해의 집단 20개에 대한 해의

최소 평균운반거리는 4785.0m이다. 20개의 해의 집단 중에서 가장 적은 운반거리는 4,725m이다. 70세대가 진행되는 동안 해의 집단의 평균운반거리가 가장 적은 값을 갖는 해의 집단에서 가장 적은 운반거리를 나타내는 개체를 해로 정한다. 이 해가 나타내는 네트워크에서의 선의 이동방향은 그림 4에 나타난 것과 같다. 이 해는 정수계획 및 분지한계기법을 이용한 것과 동일한 최적해를 나타내었다.



<그림 4> 선의 이동방향



<그림 3> 세대별 평균운반거리 및 현세대까지 최소 평균운반거리

6. 결 론

본 연구는 제조시스템의 반송시스템이 무인운반차시스템일 때 선의 이동방향을 결정하는 것이다. 선의 이동방향에 따라 작업물의 운반거리가 결정되기 때문에 작업물의 총 운반거리를 최소화할 수 있도록 네트워크의 선의 이동방향을 결정하였다. 해를 구하기 위한 알고리듬으로 휴리스틱 기법 중의 하나의 유전 알고리듬을 사용하였다. 제시된 문제를 해결하기 위한 유전 알고리듬을 적용 절차를 설명하였고, 유전 알고리듬을 적용한 예제를 나타내었다.

참고문헌

- [1] 김여근, 윤복식, 이상복, 메타휴리스틱, 영지문화사, 1999
- [2] Bozer, Y.A., and Srinivasan, M.M, 1991, "Tandem configurations for automated guided vehicle systems and the analysis of single vehicle loops," *IIE transactions*, Vol.23, 72-82
- [3] Egbelu, P.J. and Tanchoco, J.M.A., 1984, "Characterization of automatic guided vehicle dispatching rules," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.22, 259-274
- [4] Egbelu, P.J. and Tanchoco, J.M.A., 1986, "Potential for bidirectional guide path of automated guided vehicle based systems," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.24, 1075-1097
- [5] Egbelu, P.J., 1993, Concurrent specification of unit load sizes and automated guided vehicle size in manufacturing system," *Int. J. of Prod. Economics*, Vol.29, 695-712
- [6] Gaskins, R. J., and Tanchoco, J.M.A., 1987, "Flow path design for automated guided vehicle systems," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 25, 667-676
- [7] Kaspi, M. and Tanchoco, J.M.A., 1990, "Optimal flow path design of unidirectional AGV systems," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.28, 1023-1030
- [8] Goetz, W.G. and Egbelu,P.J., 1990, Guide path design and location of load pick-up/drop-off points for an automated guided vehicle system," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.28, 927-941
- [9] Mahadevan, B. and Narendran, T.T., 1990, "Design of an automated guided vehicle-based material handling system for a flexible manufacturing system," *Int. J. Prod. Res.*, 1611-1622
- [10] Maxwell, W.L. and Muckstadt, J.A., 1982, "Design of automatic guided vehicle systems," *IIE Transactions*, Vol.14, 114-124
- [11] Sinreich, D. and Tanchoco, J.M.A., 1992, "An economic model for determining AGV fleet size," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 30, 1255-1268
- [12] Tanchoco, J.M.A., 1994, *Material flow systems in manufacturing*, Chapman & Hall, London
- [13] Tomkins, J.A, and White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., Tanchoco, J.M.A. and Trevino, J., 1996, *Facilities Planning*, Wiley, New York
- [14] Tanchoco, J.M.A., Egbelu, P. J., and Taghaboni, F., 1987, "Determination of the total number of vehicles in an AGV-based material transport system," *Material Flow*, 4, 33-51
- [15] Sinreich, D. and E. Samakh, "A genetic approach to the pickup/delivery station location problem in segmented flow based material handling systems," *J. of Manufacturing Systems*, Vol. 18, No. 2, 81-97, 1999
- [16] Michalewicz, Z., *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, 3rd ed., AI series, New York : Springer-Verlag, 1996
- [17] Goldberg, D. E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley, 1989
- [18] Holland, J. H., *Adaptation in Neural and Artificial Systems*, 2nd ed., Ann Arbor, MI : University of Michigan Press, 1992