

GA를 이용한 다중경로 시스템의 AGV 대수 결정 문제

Determination of Number of AGVs in Multi-Path Systems By Using Genetic Algorithm

김 환 성, 이 상 훈

(Hwan-seong Kim and Sang-hoon Lee)

Abstract : Recently, AGV systems are used to serve the raw material to each work stations automatically. There exists a trade-off between the adequate service supply and the number of purchased AGVs. Also, to reduce the overall production cost, the amount of inventory hold on the shop floor should be considered. In this paper, we present a heuristic technique for determining the number of AGVs which will be introduced into the multi-path material handling systems. Firstly, we deal with an objective function which includes the net present fixed costs of each station, each purchased AGV, delivering cost, stock inventory cost, and safety stock inventory cost. Secondly, by using a genetic algorithm, the optimal number of AGVs and the optimal reorder quantity at each station are decided. Lastly, to verify the heuristic algorithm, we have done a computer simulation with different GA parameters.

Keywords : AGV, multi-path, genetic algorithm, stock inventory cost, net present fixed cost

I. 서론

현재까지의 AGV(Automated Guided Vehicle) 시스템은 산업분야 및 서비스 응용분야에서 두드러진 관심을 보여 왔으며, 특히 제조공정에서의 원자재 운반 및 옥외환경에서의 자율주행에 대해 많은 연구가 수행되어 왔다. 그 중에서 AGV에 대한 연구는 경로계획 [1]-[3], AGV의 교통 제어 [4]-[6], AGV의 자율주행 생성 및 운용전략 [7]-[9], 선적/하역장의 위치에 따른 AGV의 운반 규칙 [10]-[11] 및 AGV 차량 대수 결정법 [12]-[14]에 관한 분야로 크게 나눌 수 있다.

그 중에서 물류의 JIT(Just In Time)의 실현을 위해 각 생산라인에서는 무재고 및 안전재고 감소를 커다란 목표로 두고 있으며 최근에는 안전재고를 고려한 AGV 대수 결정에 관한 연구가 크게 주목받고 있다 [12]-[14]. 이때, 재고 비용은 1회 운반하는 재주문량과 깊은 관계가 있으므로 각 station의 최적인 재주문량을 결정하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 현재까지 재주문량 결정에 대한 연구는 주로 Branch-and-bound 알고리즘을 이용한 방법을 사용하고 있으나 [14], 위의 방법은 각 station 수가 증가할수록 최적의 재주문량을 결정하는 데 많은 시간이 소요되며, 제약조건으로 인해 알고리즘 탐색에 많은 어려움을 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 GA(Genetic Algorithm)를 이용하여 최적 재주문량을 결정하여, 이를 이용하여 다중루프 시스템에서 AGV 대수결정을 행하고자 한다.

유전 알고리즘을 공학에 응용하는 연구는 90년대 초부터 산업공학분야의 스케줄링 문제 및 경로계획 문제 등에서 다수 보고되기 시작되었다 [15]-[17]. 또한, 유전 알고리즘과 simulated annealing (SA)을 이용한 확률적 탐색 알고리즘을 사용하여 어려운 NP-complete 문제를 해결하려

는 연구가 있었다 [18].

유전 알고리즘은 자연계의 진화논리를 모방하여 복잡한 형식 없이 문제에 적용하기 용이하고, 기존의 효과적인 heuristic 기법과 결합할 수 있는 등 높은 범용성을 지니고 있다. 이와 같은 특징으로 인하여, 최근 산업현장에서 발생 되는 많은 제약 조건과 다중목적에 대해 기존의 Branch-and-Bound[19] 및 라그랑제 완화법[20] 등으로 해결하기 어려운 문제에 대해 용이하게 사용되고 있다.

본 연구에서는 먼저, 자재관리 시스템에 관하여 간략히 언급을 하고, AGV의 최적 대수의 결정을 위한 평가함수를 제시한다. 평가함수는 수송비용, 재고비용, 안전재고 비용, AGV 도입을 위한 고정비 등을 포함한 총비용을 최소화 하는 목적으로 고려되었다. 또한, 최적 AGV 대수 결정을 위하여 본 연구에서는 GA를 사용하여 각 작업장의 자동화 여부 및 각 작업장의 최적 주문량을 결정하였다.

시뮬레이션에서는 AGV를 증가시킴에 따라 다양한 경우의 GA 파라미터를 이용하여 총비용을 비교·분석하였으며, 이 결과에 의해 최적 AGV 대수 결정 및 이에 대한 총비용을 도출하였다.

II. 자재관리 시스템 및 모델링

1. 자재관리 시스템

본 연구에서 자재관리 시스템은 그림 1과 같이 중앙 창고에서 각 작업장으로 원자재를 운반 및 관리하는 시스템을 말한다.

본 연구에서는 현재 수동으로 관리되고 있는 자재관리 시스템을 AGV를 도입하여 자동 및 수동 조합으로 관리하는 경우, 최적인 AGV 대수 결정에 관한 문제를 다루고자 한다. 즉, AGV를 도입하는 경우 수동보다 비용절감 효과는 있으나 고정비가 발생하게 되므로, 각 작업장의 주문량에 의해서 수동인 경우와 자동인 경우에는 운반비 차이가 발생하게 된다. 따라서, 이 경우 주어진 작업장에 대해서

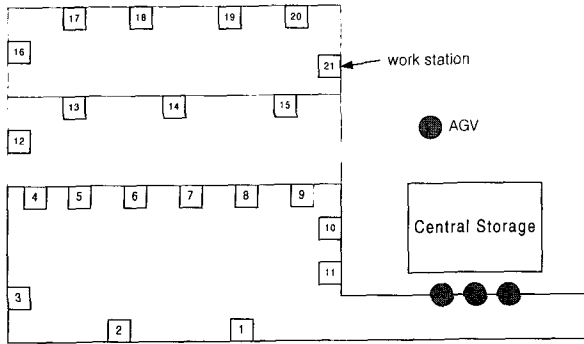


그림 1. 자재관리 시스템.
Fig. 1. Layout of material handling system.

최적 주문량을 결정하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 기본적인 자재관리 시스템은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저, 각 작업장은 항상 적당한 재고를 가지고 있고, 작업장에서 원자재가 재고 수준이하로 떨어지면 중앙창고에 주문을 요구하게 된다. 이때, 각 작업장의 원자재는 적어도 남아 있는 원자재가 소모되기 전에 중앙 창고로부터 운반되어야 하며, 각 작업장의 단위 시간당 요구량은 한 대의 AGV의 단위시간당 적재량보다 적어야 한다. 작업장 i 가 수동으로 원자재가 공급되는 경우, 작업장의 재고가 재주문시점 S_i^m 이하로 내려갈 때, 재주문량 Q_i^m 만큼 주문을 하여 중앙창고로부터 보충을 받게 된다. 만일, 주문량이 AGV에 의해 공급되는 경우는 수동의 경우와 동일하게 재고량이 재주문시점 S_i^a 이하인 경우 재주문량 Q_i^a 만큼 주문하여 보충하게 된다. 이때, i 작업장의 1일 AGV 이동 횟수 n_i 는 1일 원자재 요구량과 재주문량으로부터 다음과 같은 관계가 있다.

$$n_i = \frac{D_i}{Q_i^a} \tag{1}$$

즉, 각 작업장의 재주문량에 따라 AGV의 이동 횟수가 결정되어지며, 이동 횟수의 증감에 따라 수송비가 증감한다. (1)에 의해 전체 작업장의 이동횟수는 다음과 같다.

$$A(x) = \sum_i n_i x_i \tag{2}$$

이동횟수가 증가하면 리드타임이 감소하여 안전재고 비용 및 재고비용은 감소하게 되어 수송비와 재고비 사이는 trade-off 관계가 성립한다. 일반적으로는 각 작업장에서의 재고를 보유하기 위한 설비비와 파손비용이 크기 때문에 중앙 창고에서 재고를 보유하는 경우가 비용이 적게 든다.

AGV일 때 전체 서비스 시간(s_i)는 창고에서 원자재를 싣는 시간(l_i), 창고에서 작업장의 왕복에 소요되는 순수 이동시간(T_i), 작업장에서의 하역시간(u_i)을 모두 더한 시간이다.

$$s_i = l_i + T_i + u_i \tag{3}$$

따라서 AGV의 평균서비스 시간은 다음과 같다.

$$E(s) = A(x)^{-1} \sum_i n_i x_i s_i \tag{4}$$

일반적으로 재주문시점은 원자재 조달기간동안의 평균 수요량과 안전재고를 더한 것이다. 즉, 매뉴얼 및 AGV의 재주문시점은 다음과 같다.

$$S_i^m = D_i L_i^m + ss_i^m \tag{5a}$$

$$S_i^a = D_i L_i^a + ss_i^a \tag{5b}$$

L_i^m, L_i^a 는 매뉴얼 및 AGV일 때의 리드 타임, ss_i^m, ss_i^a 는 각각의 안전재고량이다. 여기서 안전재고는 리드타임의 변동정도를 나타내는 변동계수와 수요량 D 분포의 표준편차 및 리드타임을 곱하여 나타낼 수 있다.

$$ss_i^m = z_i cv^m L_i^m \tag{6a}$$

$$ss_i^a = z_i cv^a L_i^a \tag{6b}$$

여기서 z_i 는 표준편차, cv^a, cv^m 은 리드타임의 변동계수이다.

작업장 i 에서 수동으로 원자재 공급을 요구하는 경우, 작업자가 운반을 마치고 복귀하는 시간을 w^m 이라 하고 작업장 i 로의 이동시간과 창고에서 원자재를 적재하는 시간을 t_i^m 라고 하면, 원자재를 요구했을 때의 평균 리드타임은 다음과 같은 관계가 있다.

$$L_i^m = (w^m + t_i^m) \tag{7}$$

작업장 i 에서 AGV에 의해 원자재 공급을 요구했을 때 AGV가 운반을 마치고 복귀하는 기대시간을 w^a 라고 하고, 원자재를 적재하여 작업장으로 이동하는 시간을 t_i^a 라고 하면 AGV일 때의 리드타임은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_i^a = (w^a + t_i^a) \tag{8}$$

여기서 수동인 경우의 리드타임은 현재 수동으로 운영이 됨으로 평균값으로 구할 수 있다. 하지만 AGV의 경우 이전 자료가 없기 때문에 대기 이론을 도입하여 리드 타임을 구하고자 한다. 일반적으로 자재관리 시스템에서 원자재의 요구는 독립적이고 포아송 과정을 따른다[21].

본 연구에서 적용하고자 하는 대기행렬의 모형은 다중 경로 모형으로 M/M/C 를 따른다[22]. 따라서 대기시간 w^a 는 M/M/C 모형에 따라 한 시설이 서비스를 받기 전에 기다리는 시간이다. 즉, 작업장 i 가 원자재를 요구했을 때 평균 기다려야 하는 시간이다.

$$w^a = \frac{L_a}{\lambda} \tag{9a}$$

$$L_a = \frac{\lambda \mu \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^c}{(c-1)! (c\mu - \lambda)^2} P_0 \tag{9b}$$

$$P_0 = \left\{ \left[\sum_{n=0}^{c-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \right] + \frac{1}{c!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^c \left(\frac{c\mu}{c\mu - \lambda}\right) \right\}^{-1} \tag{9c}$$

여기서 (9a), (9b), (9c)는 little's formula[23]에 의해 유도되었다. 단,

$$\lambda = \sqrt{\Lambda(x)}$$

$$\mu = \frac{\sqrt{\Lambda(x)}}{\Lambda(x)E(s)}$$

일반적으로 수동 및 AGV인 경우에 리드타임이 길어지면 안전재고 비용이 증가한다.

따라서, 자재관리 시스템에서 수동 및 AGV로 운반되어지는 작업장의 결정과 그때의 총비용이 최소가 되는 재주문량의 결정이 중요하며, 이를 바탕으로 몇 대의 AGV로 몇 개의 작업장을 AGV로 운반하는 것이 최적인지를 결정하는 문제가 보다 중요하게 된다. 이와 같은 문제는 일반적으로 NP-complete 조합형 문제에 속하며, 본 연구에서 해결하려는 문제이다.

2. 모델링

AGV 도입에 의해 생산단가의 최소화를 위해, 자재관리 시스템에서는 다음과 같은 가정을 행한다.

- 1) 한 작업장에서는 한 종류의 원자재만을 사용한다.
- 2) 원자재는 중앙 창고에서만 공급되어지고 각 작업장간의 원자재 이동은 없다.
- 3) 각 작업장의 단위 시간당 주문량은 AGV의 단위 시간당 운반량 보다 적다.
- 4) 각 작업장의 AGV 하역 위치는 고정이다.
- 5) AGV가 원자재를 적재하기 위한 대기 시간은 고려하지 않는다.
- 6) 각 AGV는 한 번에 한 종류의 원자재만을 운반한다.
- 7) 각 작업장의 AGV 운행시간과 적재/하역 시간은 일정하다.
- 8) 한 작업장에서의 원자재의 평균 요구량은 일정하다.

자재관리 시스템에서 재고, 안전재고, AGV를 위한 자동화 비용 및 수송비를 고려한 목적함수 식은 다음과 같이 나타내어진다.

$$P: \text{Min} \sum_i k_i^2 x_i D_i / Q_i^a + \sum_i k_i^m D_i / Q_i^m (1-x_i) + \sum_i f_i x_i + cF$$

$$+ \sum_i x_i h_i Q_i^a / 2 + \sum_i h_i Q_i^m / 2 (1-x_i)$$

$$+ \sum_i L_i^a p_i^a x_i + \sum_i L_i^m p_i^m (1-x_i) \quad (10a)$$

단,

$$L_i^a x_i \leq Q_i^a / D_i, \quad (10b)$$

$$L_i^m (1-x_i) \leq Q_i^m / D_i, \quad (10c)$$

$$x_i = 0, 1 \quad \forall i, \quad (10d)$$

$$c \geq 0 \quad \text{integer}, \quad (10e)$$

$$Q_i^a, Q_i^m \geq 0 \quad \text{integer}. \quad (10f)$$

목적함수 P는 총 수송비와 재고비를 최소화하는 함수로 첫 번째 두 요소는 수동과 AGV에 의한 수송비를 나타내고, 다음 두 요소는 AGV 구입비용과 AGV를 위한 각 작업장의 자동화 비용을 나타낸다. 세 번째 두 요소는 수동과 AGV일 때의 각각 재고비를 나타내며, 그리고 마지막

두 요소는 안전재고 비용을 나타낸다. 일반적으로 안전재고는 리드타임과 관련이 있으므로 안전재고비는 리드타임의 함수로 나타내어진다. 제약식 (10b) 와 (10c)는 주문 리드타임이 적어도 주문량을 다 사용하는 시간보다 적어야 하는 제약식을 나타낸다.

p_i^m, p_i^a 는 각각 수동과 AGV 경우의 단위시간당 안전재고 비용으로 다음과 같이 정의한다.

$$p_i^m = z_i c v^m h_i D_i \quad (11a)$$

$$p_i^a = z_i c v^a h_i D_i \quad (11b)$$

III. Genetic algorithm

유전 알고리즘은 자연 선택의 원리와 자연계의 생물 유전학에 기본 이론을 둔 병렬적이고 전역적인 탐색 알고리즘으로 우수 인자끼리 교배하여 더 좋은 우성인자를 생성한다는 유전학의 개념을 도입한 확률적 알고리즘이다. 유전 알고리즘은 1975년 Holland에 의해 개발되었으며[2][4], 기본개념은 다윈의 적자생존의 이론을 기반으로 하고있다[2][5]. 복잡한 최적화 문제를 해결하기 위해서 GA는 집단을 사용하고 여기에 모의진화를 일으켜 점진적으로 개선해 나가게된다. 집단은 다수의 염색체로 형성되고 염색체는 문제공간 상의 한 점(잠정적인 해)을 대표하며 이러한 집단을 유지함으로써 여러 방향으로 탐색을 추구하는 알고리즘이다.

본 연구에서는 목적함수 P를 최소로 하는 AGV 대수와 이때 AGV에 의해 서비스되는 작업장 및 수동에 의해 서비스되는 작업장을 결정하는 것으로서, 유전 알고리즘을 적용하기 위한 기본 구조로서 다음의 초기화, 적합도 평가와 재생산, 교배, 돌연변이 4단계를 구성한다. 본 연구에서 사용한 염색체는 이진스트링과 정수형 스트링의 혼합으로 이진스트링의 결과에 따라 정수형 스트링 이 결정되는 문제점이 있어 일반적인 교배 및 돌연변이 연산자를 적용함에 있어 어려움이 있었다.

본 연구에서 GA를 적용함에 있어 염색체 표현 및 기본 구조에 따른 각 유전 연산자와 해 파라미터는 다음과 같다.

1) 염색체의 표현 및 초기화 : 본 연구에서 사용한 염색체는 그림 2와 같이 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 하나는 AGV의 적용여부를 결정하는 이진스트링 염색체와 AGV에 의한 재주문량을 결정하는 정수형 염색체, 나머지는 수동에 의한 재주문량을 결정하는 정수형 염색체이다. 본 논문의 예제에서는 21개의 작업장을 적용하므로 염색체의 총 길이는 63개가 된다. 즉, 이진스트링 21개 및 각 재주문량을 결정하는 정수형 변수 42개이다. 일반적으로 이진스트링을 사용하는데 본 연구에서는 이진스트링과 정수 스트링을 혼합하여 사용하였다. 정수형 염색체를 사용하는

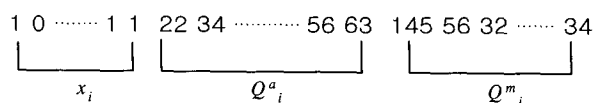


그림 2. 염색체 표현.

Fig. 2. Representation of chromosome.

데 있어 이점은 제약 조건을 적절히 이용할 수 있고, 부호화 및 복호화 과정을 생략하는 점이다.

자동화 여부를 결정하는 변수 x_i 는 난수를 발생시켜 0.5이상이면 1로 0.5이하이면 0으로 결정한다. 그리고 각각의 재주문량은 1일 요구량을 넘지 않는 범위의 정수형 난수를 발생시켜 초기 집단을 생성한다.

2) Reproduction : 유전자를 재생산할 때 고려할 사항은 목적함수의 제약식에 따라 각 작업장의 1회 주문량은 0보다 큰 정수이며, 1일 주문량보다 적어야 한다는 것이다. 또한 각 염색체가 생성될 때마다 제약조건을 검사하여 제약 조건을 위반하는 염색체를 미리 제외시킨다. 재생산 연산자로는 룰렛 휠 방법을 사용하였다. 이 연산자의 동작은 먼저 개체들의 적합도 합을 계산하고 각 개체의 선택 확률을 계산한다. 다음으로 0과 1사이의 난수를 발생시켜 난수가 선택 확률에 포함되는 염색체를 선택하여 유전자를 재생산한다[25]. 특히 본 연구의 경우 정수형 염색체임으로 표현형을 유전자형으로 변환하는 과정이 없기 때문에 간결하고 연산 시간도 짧아진다. 적합도 계산에 필요한 적합도 함수는 (10a)의 역수를 취하여 사용되었다.

3) Crossover : 교배는 염색체간 정보를 교환하는 메커니즘으로 이를 구현하는 연산자는 코딩법에 종속된다. 실수 코딩법에 적합한 연산자는 단순교배, 산술적 교배, 수정 단순교배, 프래그교배가 있으나[25], 본 연구에서는 이진 스트링에 따라서 정수형 염색체가 결정되어야 하는 문제점을 보완하기 위해 그림 3과 같이 변형된 그룹교배를 사용하였다.

일반적으로 TSP문제에 사용되는 그룹교배는 한 부모 염색체 \bar{s}_u 에서 난수를 발생시켜 임의의 한 삽입점을 선택하고, 다른 부모 염색체 \bar{s}_v 에서 임의의 정수형 난수를 발생시켜 그 정수만큼 세그먼트 길이를 결정한다. 그리고 선택된 세그먼트를 \bar{s}_u 에 삽입하고 세그먼트 밖에 있는 유전자 중 중복되는 것을 삭제한다[25]. 하지만 본 연구에서는 염색체가 이진 스트링과 정수형 스트링이 혼합되어 있으므로 삽입점 및 세그먼트는 이진스트링 x_i 범위 내에서 선택을 하고 서로 교환을 한다. 이와 동시에 정수형스트링 Q_i^a, Q_i^m 도 변수 x_i 와 같은 위치에 삽입점과 세그먼트를 선택하여 같이 적용하여 새로운 염색체를 생성한다.

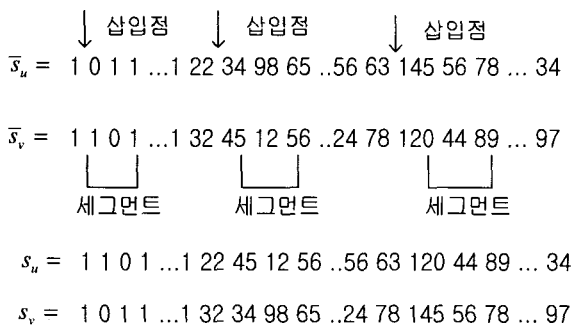


그림 3. 변형된 그룹 교배의 표현.
Fig. 3. Representation of modified group crossover.

표 1. 시뮬레이션에 이용된 데이터[14].

Table 1. Data for simulations.

작업장	D_i (unit/day)	m_i^a (\$)	m_i^m (\$)	P_i (\$/min)	L_i^m (min)	t_i^a (min)	T_i (min)
1	86	477	3589	17.92	8.56	1.58	7.42
2	343	477	3589	71.46	8.56	2.58	7.42
3	954	477	3589	198.75	8.56	3.00	7.42
4	651	477	3589	127.29	8.56	3.33	7.42
5	1374	477	3589	286.25	8.56	3.92	7.42
6	38	477	3589	7.92	8.56	4.33	7.42
7	86	477	3589	17.92	8.56	4.50	7.42
8	86	477	3589	17.92	8.56	4.58	7.42
9	733	477	3589	161.04	8.56	5.50	7.42
10	611	477	3589	127.29	8.56	5.83	7.42
11	38	477	3589	7.95	8.56	6.91	7.42
12	1297	536	4032	270.21	9.62	3.33	8.83
13	1072	536	4032	223.33	9.62	3.92	8.83
14	268	536	4032	55.83	9.62	4.50	8.83
15	386	536	4032	80.42	9.62	4.92	8.83
16	55	687	5132	11.42	12.25	3.58	12.33
17	14	687	5132	2.92	12.25	4.42	12.33
18	220	687	5132	45.83	12.25	5.00	12.33
19	220	687	5132	45.83	12.25	5.67	12.33
20	879	687	5132	183.12	12.25	6.50	12.33
21	55	687	5132	11.46	12.25	7.33	12.33

$f_i = 500(\$) \forall i, F=45,000(\$), h_i = 100(\$), l_i = 3 \text{ min}$
 $u_i = 1\text{min}, z_i = 1, p_i^m = p_i^a = P_i, cv^a = cv^m = 1$

4) Mutation : 돌연변이도 교배와 마찬가지로 염색체내의 정보를 변경시켜주는 도구로서 관계를 가지고 있다. 실수 코딩법에 적합한 연산자는 균등 돌연변이, 경계 돌연변이, 동적 돌연변이 등이 있으며[25], 본 연구에서는 균등 돌연변이를 변형하여 사용하였다. 일반적인 균등 돌연변이의 기본 원리는 임의의 난수를 발생시켜 난수 값이 돌연변이 확률보다 적으면 그 유전자를 비트 반전시키는 단순돌연변이와 유사하나 직접적으로 비트 반전을 시키지 않고 임의로 발생된 실수로 교체되는 부분이 다르며, 본 연구에서는 실수가 아닌 정수형으로 교체된다.

5) 제약 조건의 취급 : 복잡한 최적화 문제에 GA를 적용할 때 고려할 사항 중 하나는 제약조건을 어떻게 다룰 것인가 하는 문제이다. 최근 제약조건을 다루는 방법으로서 크게 거부전략, 복구전략, 유전연산자의 보완전략 및 벌점전략이 있으며 본 연구에서는 각 유전 연산자마다 제약 조건을 검사해 제약 조건을 위반하지 않는 염색체만을 생성하도록 하였다. 염색체 생산에 있어 1000회 반복 될 때까지 제약 조건을 만족하는 염색체를 생산하지 못하면 종료하도록 하였다.

6) 엘리트 전략 : 진화과정에서 새로운 유전자는 확률적 속성 때문에 한 세대의 최적 개체가 다음 세대에 살아 남지 못하고 소멸되는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 보완한 것이 엘리트전략으로서 집단에서 가장 강한

개체가 다음 세대로 변경되지 않고 전달되는 것을 보장해 준다. 즉 이전 세대의 최적 개체를 저장하고 있다가 일련의 진화가 수행된 후 현 세대에서 소멸된 것이 확인되면 저장된 개체를 현 세대에서 가장 약한 개체 또는 임의로 선택된 개체와 교환하게 된다.

7) 정지 조건 : 일반적으로 정지 조건은 최대 세대수를 정하는 방법과 매 세대마다 얻어지는 잠정적인 해로부터 수렴성을 조사하여 정지 조건으로 사용한다. 본 연구에서는 후자의 경우로서 일정세대동안 해의 진전이 없으면 종료하기로 하고 시뮬레이션을 행하였다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터.

Table 2. Parameters for simulations.

CASE	집단크기	교배 확률	돌연변이 확률
1	60	0.9	0.1
2	60	0.8	0.2
3	120	0.9	0.1
4	120	0.8	0.2

IV. 유전 파라미터의 결정 및 계산 실험

앞에서 제시한 모델 및 알고리즘을 사용하여 시뮬레이션을 행하고자 한다. 시뮬레이션에 사용된 데이터는 표 1과 같다.

본 연구에서는 AGV 대수를 결정하기 위해 AGV의 대수를 순차적으로 증가하여 목적함수가 더 이상 감소하지 않을 때까지 반복시킨다. (9)에 의해 AGV 한 대가 단위 시간당 원자재를 운반할 수 있는 능력이 평균 주문횟수보다 적으면 무한히 긴 대기행렬이 발생하므로 초기 AGV 대수를 2대로 하여 시뮬레이션을 행하였다.

또한, 목적함수의 빠른 수렴을 위해 유전 알고리즘 탐색 성능에 영향을 주는 집단크기, 교배확률 및 돌연변이 확률을 표 2와 같이 고려하여 시뮬레이션을 행하였다

표 2의 GA 파라미터에 대해 시뮬레이션을 행한 목적함수 결과는 그림 4~7과 같이 나타난다. 이때 반복 세대수는 정지조건을 만족하는 시점에서 결정되므로 각각 다르게 나타났다.

시뮬레이션 결과는 표 3과 같이 요약되며, 각 경우의 최적 AGV 대수는 2대로 동일하며 총 비용이 최소가 되는 것은 첫 번째 경우로서 총비용이 255,809\$이며, 원자재의 운반의 자동화 여부는 모든 작업장을 AGV로 운반하는 것으로 나타났다.

본 연구에서 제시한 알고리즘의 성능평가를 위해 Johnson and Brandeau[14]의 결과와 비교하였다. AGV대수 및 작업장 자동화 여부는 본 연구와 동일하였으며 총비용의 경우 이전 연구[14]에서는 총비용이 278,569\$인데 반하여 본 연구에서 제시한 알고리즘에서는 총비용이 255,809\$로 약 22,760\$ 더 좋은 값을 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 GA 알고리즘이 더 우수한 결과를 도출 할 수 있었다.

또한, 집단 크기는 60인 경우와 120인 경우를 비교한 결

과, 집단의 크기가 60인 경우가 보다 좋은 결과를 나타내었고 이로서 집단의 크기를 크게 하여 성능이 향상되는 정도에 비해 많은 연산 시간이 요구됨을 알 수 있었다.

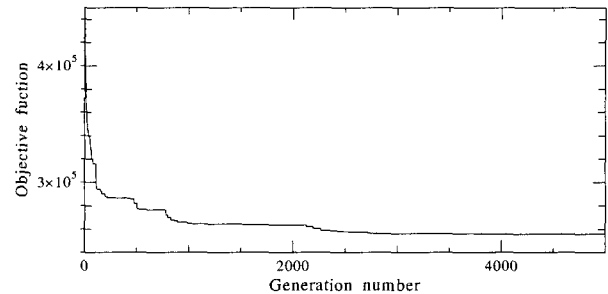


그림 4. 경우 1에 대한 세대수 증가에 따른 목적함수. Fig. 4. Value of objective function with case 1.

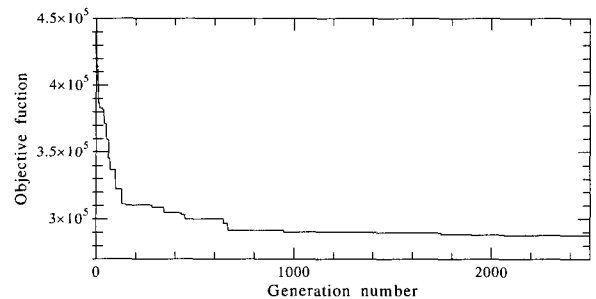


그림 5. 경우 2에 대한 세대수 증가에 따른 목적함수. Fig. 5. Value of objective function with case 2.

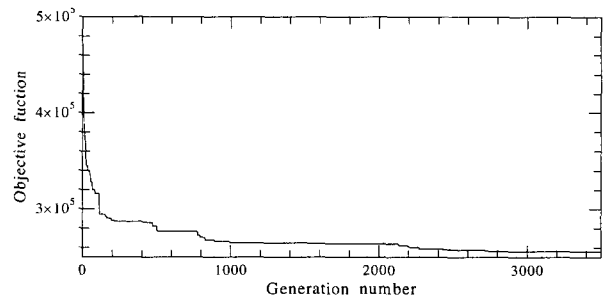


그림 6. 경우 3에 대한 세대수 증가에 따른 목적함수. Fig. 6. Value of objective function with case 3.

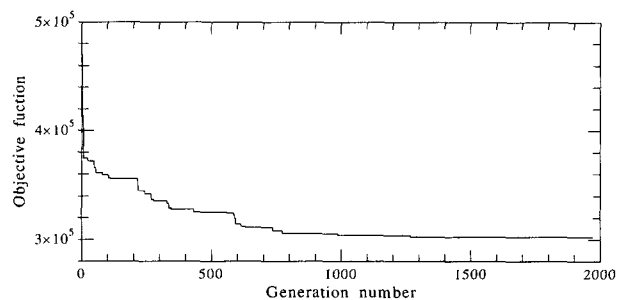


그림 7. 경우 4에 대한 세대수 증가에 따른 목적함수. Fig. 7. Value of objective function with case 4.

표 3. GA 파라미터에 대한 총 비용 결과.

Table 3. Total cost results for GA para.

CASE	c = 2	c = 3	Station Served by AGV
1	255,809	318,256	모든 작업장
2	287,833	317,644	모든 작업장
3	256,067	322,286	모든 작업장
4	302,347	344,827	모든 작업장

V. 결론

자재관리 시스템에서 AGV를 도입하는 경우, 총 생산비용이 최소가 되는 AGV 대수를 결정을 위해 수송비, 재고비, 고정비 및 안전 재고비를 고려하였으며 복잡한 최적화 문제를 해결하는데 범용성과 안정성이 뛰어난 유전 알고리즘을 사용하였다.

본 연구에서는 기존에 제시한 코딩법과 다른 이진과 정수 스트링을 혼합한 형태를 사용하였으며 이에 적합한 수정된 그룹교배를 사용하였다. 그러나, 현재의 결과에서는 AGV의 동적인 특성으로 AGV속도를 고려하지 않았으므로, 차후 이에 대한 보완적인 연구가 필요하다. 따라서, 금후 과제로서는 다 AGV 시스템의 동적인 특성을 분석·평가하는 모형을 개발하고, 위의 문제에 대해 유전 알고리즘 개발을 행하고자 한다.

참고문헌

- [1] 임재국, 高橋, 杉本, “자율분산 협조형의 AGV를 위한 경로계획에 관한 연구”, 한국경영과학회/대한산업공학회 97년도 춘계공동학술대회, pp. 267-270, 1997.
- [2] J. Barraquard, B. Langlois, and J. C. Latombe, “Numerical potential field techniques for robot path planning”, *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 22, no. 2, pp. 224-241, 1992.
- [3] K. H. Wu, C. H. Chen, and J. M. Ko, “Path planning and prototype design of an AGV”, *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 30, pp. 147-167, 1999.
- [4] J. H. Lee, B. H. Lee, M. S. Choi, J. D. Kim, K. T. Joo, and H. Park, “A real time traffic control scheme for a multiple AGV system” *Proc. of IEEE int. Conference on Robotics and Automation*, vol. 2, pp. 1625-1630, 1995.
- [5] 노영식, “AGV의 중앙운행제어를 위한 경로계획 및 교통제어”, 대한전기학회논문집, 제44권, 3호, pp. 364-371, 1995.
- [6] C. W. Kim, “Deadlock prevention in manufacturing systems with AGV systems : Banker’s algorithm approach”, *Journal of Manufacturing Science and Eng.*, vol. 119, no. 4, pp. 849-860, 1997.
- [7] 양대용, 정병희, 윤창원, “유연가공 및 조립시스템에서의 AGV 운용전략”, 경영과학, 제11권, 제1호, pp. 23-37, 1994.
- [8] 吉川, 渡邊, 嘉數, “確率的學習オートマンによる複数

AGVの自律的走行”, 日本精密工學會誌. 第62卷, 2號, pp. 260-264, 1996.

- [9] 東, 關山, 福田, “AGV搬送システムにおける戦略の自律形成の研究”, 日本機械學會論文集C編, 第65卷, 629號, pp. 185-191, 1999.
- [10] P. J. Egbelu and J. M. A. Tanchoco, “Characterization of automatic guided behicl dispatching rules”, *Int. Journal of Production Research*, vol. 22, pp. 359-374, 1984.
- [11] C. M. Klein and J. Kim, “AGV dispatching”, *Int. Journal of Production Research*, vol. 34, pp. 95-110, 1996.
- [12] J. A. Tompkins and J. A. White, “Facilities planning”, *John Wiley and Sons*, New York, 1984.
- [13] M. E. Johnson and M. L. Brandeau, “Stochastic modeling for automated material handling system design and control”, *Transp. Sci.*, vol. 30, pp. 330-350, 1996.
- [14] M. E. Johnson and M. L. Brandeau, “Design of an automated shop floor material handling system with inventory considerations”, *Operations Research*, vol. 47 no. 1, pp. 65-80, 1999.
- [15] K. Krishnakumar, “Control system optimization using genetic algorithm”, *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, vol. 15, no. 3, pp. 735-739, 1992.
- [16] 최규석, 우광방, “지능형 주행 안내 시스템을 위한 유전 알고리즘에 근거한 최적 경로 탐색 알고리즘”, 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제3권, 2호, pp. 156-161, 1997.
- [17] V. Ampomaramveth and Y. Matsuo, “Real-time distributed genetic algorithm to search for control laws of a distributed autonomous system”, *Trans. of IEE Japan*, vol. 119-C, no. 4, pp. 438-446, 1999.
- [18] D. E. Goldberg, “Genetic algorithm in search, optimization, and machine learning”, Addison-Wesely, 1989.
- [19] J. Carlier and E. Pinson, “An algorithm for solving the job shop problem”, *Management Science*, vol. 35, pp. 164-176, 1989.
- [20] M. Fisher, “Lagrangian relaxation method for solving integer programming problems”, *Management Science*, vol. 27, pp. 1-8, 1981.
- [21] D. Gross and C. M. Harris, “Fundamentals of queueing theory”, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1985.
- [22] W. Whitt. “The queueing network analyzer”, *The Bell System Technical*, 9, 1983.
- [23] H. A. Taha, “Operations research: An introduction”, Prentice Hall, 1997.
- [24] J. H. Holland, “Adaptation in natural and artificial

systems”, The University of Michigan Press, Michigan, 1975.

[25] 진강규, “유전알고리즘과 그 응용”, 교우사, 2000.

기호설명

i : 작업장 번호

x_i : $\begin{cases} 1 : \text{작업장 } i \text{ 에서 AGV에 의한 운반} \\ 0 : \text{작업장 } i \text{ 에서 수동에 의한 운반} \end{cases}$

Q_i^a : AGV에 의한 i 작업장의 재주문량

Q_i^m : 수동에 의한 i 작업장의 재주문량

c : AGV 대수

k_i^m : 수동에 의한 i 작업장까지 수송비

k_i^a : AGV에 의한 i 작업장까지 수송비

F : AGV 구매비용에 대한 단위기간 당 현재고정비

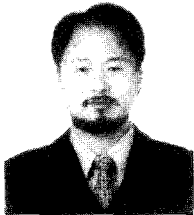
f_i : i 작업장의 자동화비용에 대한 단위기간 당 현재고정비

D_i : i 작업장의 1일 평균 원자재 요구량

p_i^m : 수동인 경우 작업장 i 에서 단위시간당 안전재고비용

p_i^a : AGV인 경우 작업장 i 에서 단위시간당 안전재고비용

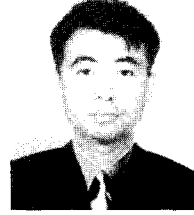
h_i : 작업장 i 에서 재고 한 단위당 재고비용(기타 기호는 본문에서 설명)



김 환 성

1965년 6월 13일생, 1991년 부경대학교(구, 부산수대) 기관공학과 졸업. 1993년 동대학원 기계공학과 석사. 1996년 일본 Kumamoto Univ. 공학박사. 1997년 ~ 1998년 8월 부경대학교 해양산업개발연구소 Post-Doc. 1998

년 8월 ~ 현재 한국해양대학교 물류시스템공학과 조교수. 관심분야는 디스크립터 시스템 및 관측기 설계, 고장진단, 크레인 제어 및 강인 제어 등.



이 상 훈

1974년 6월 15일생, 2000년 한국해양대학교 물류시스템공학과 졸업, 2000년 ~ 현재 한국해양대학교 대학원 물류시스템공학과 석사과정 재학 중. 관심분야는 보관·하역기기 및 물류정보 시스템 등.