

# 유전알고리즘을 이용한 자동차 조립라인 투입순서 결정

## A Study on the Sequencing Problem in Car Assembly Lines using Genetic Algorithms

현철주

### 1. 서론

자동차 조립라인은 시설의 효율적인 이용을 위하여 한 라인에서 유사한 여러 모델의 제품을 생산하고 있다. 예로서 승용차 라인에서는 여러 가지 차종을 생산하고 있으며, 하나의 차종에 대해서도 엔진, 문(door)의 형태, 자동변속기, 에어컨, 또는 차의 색상 등의 옵션이 조합되어 각각 다른 모델이 된다. 자동차 조립라인에서는 재고비용을 줄이고 수요를 적시에 만족시키기 위하여 모델의 종류와 양을 평준화하여 골고루 혼류로 생산하는 평준화생산방식을 택하는 경우가 많다. 평준화 생산방식은 모델에 따라 작업내용, 작업방법, 작업시간, 자재 및 이용 설비 등이 상이할 뿐만 아니라 모델의 생산순서에 따라 생산계획과 통제가 복잡하게 된다.

자동차 조립라인에서는 모델에 따라 작업장에서 수행하는 작업과 작업시간이 다르기 때문에 어떤 작업장에서 모델에 대한 작업시간은 사이클타임보다 클 수 있으며, 이러한 제품이 연속적으로 투입되면 작업혼잡이 발생하여 컨베이어 정지위험이 커지고, 사이클타임이 길어진다. 모델의 생산순서(Sequencing)를 결정하는 문제가 라인의 효율적인 이용을 위해 중요하다[1].

자동차 조립라인의 생산순서에 관한 연구는 라인길이의 최소화, 컨베이어 정지위험의 최소화, 가외작업(Utility work)의 최소화, 부품사용의 일정을 유지 등 다양한 목적들에 대해 여러 연구가 이루어 졌다[1,3,6,7]. 본 연구는 자동차 조립라인에서 발생하는 가외작업에 관한 목적을 다루고 있으며, 자동차 조립라인에 쉽게 적용 가능하도록 비용 개념으로 접근하였다. 비용측면으로의 접근방법은 여러 가지 목적을 동시에 다룰 수 있으며, 현장에서 적용하기 쉽다는 장점이 있다. 가외작업비용을 최소로 하는 생산순서의 결정은 작업혼잡을 피할 수 있으며, 라인상에 필요한 가외작업자의 수 또는 컨베이어의 정지위험을 낮게 하여 생산 능력을 높일 수 있게 한다.

자동차조립라인의 생산순서 문제는 생산모델의 개수가 많아지면 최적해를 구하기 어려운 NP-hard 문제이다. 또한 모델의 수요변화, 부품의 결품 등에 따라 생산순서의 재결정에는 실시간 처리가 필요하다. 본 연구에서는 자동차 조립라인에서 발생하는 총가외작업비용을 최소로 하는 생산순서를 위한 수리모형을 제시하고, 유전알고리즘을 이용하여 다루는 목적에 대해 실시간으로 효율적인 생산순서를 결정하고자 한다.

\* 전북과학대학 품질관리과 교수

## 2. 수리모형

### 2.1 문제의 상황

본 연구에서 다루는 자동차 조립라인은 일정한 속도( $v_c$ )로 이동하는 컨베이어 시스템으로 유사한 여러 모델의 제품들이 일정시간 간격으로 투입되고 있으며, 컨베이어의 이동에 따라 작업자가 이동하면서 작업하는 라인이다. 라인은  $J$ 개의 작업장으로 구성되어 있으며, 각 작업장은 한 사람의 작업자로 운영되고, 라인밸런싱 되었다고 가정한다. 또한 각 작업장은 작업을 위한 설비나 장비의 제약으로 인하여 경계가 존재하며 작업장에 할당된 작업은 그 작업장내에서 수행되어야 한다.

가외작업(Utility work)은 제품이 작업장의 경계에 이르러 작업장에 할당된 작업을 마치지 못한 양을 의미한다. 가외작업이 발생하면 라인의 직장이나 반장 등의 가외작업자(Utility worker)가 투입되므로 가외작업 비용이 발생하게 된다.

### 2.2 수리모형

총 가외작업비용을 최소로 하는 생산순서를 위한 수리모형은 다음과 같다.

$$\text{Min. } \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I U_{ij} C_j \quad (0)$$

$$\text{S.T. } \sum_{m=1}^M X_{im} = 1 \quad i = 1, \dots, I \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{im} = d_m \quad m = 1, \dots, M \quad (2)$$

$$Z_{i+1,j} = \max(Z_{ij} + v_c \sum_{m=1}^M X_{im} t_{jm} - w, 0) \quad i = 1, \dots, I-1 \quad j = 1, \dots, J \quad (3)$$

$$U_{ij} = \max(Z_{ij} + v_c \sum_{m=1}^M X_{im} t_{jm} - L_j, 0) \quad i = 1, \dots, I \quad j = 1, \dots, J \quad (4)$$

$$X_{im} = 0 \text{ or } 1 \quad i = 1, \dots, I \quad m = 1, \dots, M \quad (5)$$

$$Z_{ij} \geq 0, \quad Z_{1j} = 0 \quad U_{ij} \geq 0 \quad i = 1, \dots, I \quad j = 1, \dots, J \quad (6)$$

### 목적함수(Objective function)

전체 작업장에서 모든 생산제품에 걸쳐 발생하는 총 가외작업비용을 최소로 하는 생산순서를 구하는 것을 목적으로 한다. 목적함수에서  $U_{ij}$  는  $j$  작업장에서  $i$  작업에서 발생하는 가외작업을,  $C_j$  는 작업장  $j$ 에서의 가외작업비용을 나타내고 있다.

### 제약식(Constraints)

제약식 (1)는 생산순서의 각 위치에는 단 하나의 모델만이 있어야 한다는 위치제약이고, 제약식 (2)은 각 모델의 수요를 만족시켜야 하는 수요제약을 나타내고 있다. 제약식 (3)는 작업장  $j$ 에서  $(i+1)$ 번째 제품의 작업시작 위치에 관한 제약으로 우변 괄호

안의 첫번째 항은 작업장  $j$ 에서  $i$ 번째 제품의 작업시작위치를 나타내고, 두번째 항은  $i$ 번째 제품의 조립시간에 컨베이어의 속도를 곱해줌으로써 작업자가 작업을 시작하여 끝마칠 때까지의 시간을 거리로 나타낸 것이다. 연속된 두 제품사이의 거리는  $w$  이고 작업자의 이동시간은 무시하였으므로  $Z_{ij}$ 에 관한 제약은 제약식 (3)과 같이 표현된다. 제약식 (4)는  $j$  작업장에서  $i$  작업에 대한 가외작업( $U_{ij}$ )을 나타내며, 이는 제품이 작업장의 경계에 이르러 제품에 대한 작업을 마치지 못한 양을 나타낸다.

제약식 (5)는 0 또는 1의 결정변수를 나타내고, 제약식 (6)에서  $Z_{ij} = 0, j = 1, \dots, J$ 은 각 작업장의 첫번째 제품의 작업시작 위치가 0이라는 것을 의미하고, 다른 것들은 비음제약을 나타낸다. 수리모형에 사용된 자세한 기호는 참고문헌 4번을 참조하기 바란다.

### 3. 유전알고리즘

유전알고리즘(Genetic Algorithms)은 일종의 인공지능 기법으로 적자생존과 유전 등의 자연의 진화과정을 모방하여 개발한 탐색 기법으로 조합최적화 문제(Combinatorial Optimization Problems)를 해결하는 데 적합한 기법으로 알려져 있다[2, 5].

유전알고리즘을 문제에 적용하기 위해서 첫째, 문제에 대한 해를 나타내기 위한 표현방법 둘째, 환경에 대한 적응도를 측정하는 평가함수 셋째, 다음 세대에 생존시키기 위한 생존방법 넷째, 새로운 해를 탐색해 내는 유전연산자 다섯째, 유전알고리즘에서 사용된 여러가지 파라미터 값의 결정 등이 이루어져야 한다.

고전적 유전알고리즘으로부터 해의 효율 및 계산시간의 단축을 위해 이를 변형한 여러 유전알고리즘이 개발되었다. 본 연구에서는 Michalewicz *et al.*[5]이 제시한 수정 유전알고리즘을 기본으로 하며, 문제에 대한 해를 나타내기 위한 표현방법은 사이클 생산내에서 생산되어야 하는 모델들의 목록을 생산순서대로 차례로 나열하는 방법을 사용한다. 초기 모집단은 사이클생산동안 각 모델의 수요량을 만족하는 임의의 해를 사용하기로 하고 평가함수는 제품모델의 생산순서에 따라 조립라인에서 발생하는 총 가외작업비용을 나타내며, 제 2장의 목적함수에 의해 구해진다. 또한 생존방법으로 토너먼트 생존방법과 순위생존 방법을 사용하여 분석하였으며, 이원연산자로 ISR 연산자[3]를 사용하고, 일원연산자는 역순(Inversion)을 사용하기로 한다.

### 4. 실험결과

유전알고리즘을 이용하여 자동차 조립라인에서 발생하는 총 가외작업비용을 최소화 하는 생산순서를 결정하기 위해 수정 유전알고리즘에 사용되는 유전파라미터를 분석하여 적절한 값을 결정하고, 토너먼트 생존과 순위 생존방법에 대해 비교한다. 또한 유전알고리즘과 분지한계법을 계산시간과 해의 효율측면에서 비교분석하고자 한다. 유전알고리즘은 C++ 언어로 프로그램되었으며, 결과분석은 실험의 신뢰도를 높이기 위하여

초기해를 달리하여 50회 반복실험한 평균치를 사용하였다.

#### 4.1 유전파라미터의 분석

실험에 사용한 예제는 총 20개의 작업장으로 구성된 조립라인에서 10종류의 모델을 생산한다. 한 사이클동안에 생산할 총 제품 수는 20개이므로 한 개체의 인자 수는 20개이며, 모델별 생산제품 수만큼 한 개체에서 같은 인자가 다시 나타난다.

결정해야 할 유전파라미터로는 모집단의 크기(*pop\_size*), 연산자의 적용개체수(*k*), 토너먼트 생존방법을 사용시 토너먼트 크기(*s*), 순위생존방법을 사용시 생존확률파라미터(*q*), 종료조건 등이 있다. 유전파라미터의 분석을 결정하기 위하여 이원연산자와 일원연산자의 비율은 ISR과 역순연산자를 5 : 5로 혼용하여 실험하였다.

유전파라미터에 대한 실험을 하여 다루는 문제의 모집단 크기는 100으로 결정하고 연산자 적용개체 수를 모집단 크기의 50%로 결정하였으며, 알고리즘의 종료조건은 세대수 200으로 하였다.

#### 4.2 생존방법의 분석 및 유전알고리즘과 분지한계법의 비교

토너먼트 생존과 순위 생존을 비교분석하기 위해 각각 토너먼트크기(*s*)와 생존확률 파라미터(*q*)를 변화시키면서 실험하였다.

토너먼트의 크기 또는 생존확률이 커지면 빨리 좋은 해를 탐색가능하나 조기수렴할 확률이 커지고, 작아지면 해를 효율적으로 탐색하기가 힘들다는 것을 알 수 있었으며, 알고리즘의 성능은 토너먼트의 크기, 생존확률 파라미터에 따라 다르나 거의 비슷하게 나타났다. 또한 토너먼트생존과 순위생존을 비교하면, 생존방법의 차이는 해의 질에 큰 영향을 주지는 않았으나, 순위생존방법이 약간 나은 해를 찾았다.

또한 유전알고리즘과 분지한계법을 계산시간 및 해의 효율측면에서 비교분석한 결과, 유전알고리즘은 실시간으로 최적해에 가까운 해를 찾아내었고, 계산시간은 유전연산과 개체의 평가에 대부분 소요되기 때문에 개체를 구성하는 인자의 수에 계산시간이 비례하게 된다. 한편 분지한계법은 많은 계산시간이 필요하며, 문제 크기의 증가에 따라 계산시간이 기하급수적으로 증가한다는 것을 알 수 있었다.

### 5. 결론

본 연구에서는 자동차 조립라인에서 모델의 생산순서에 따라 발생하는 총 가의작업 비용을 최소화 하는 수리모형을 개발하였으며, 유전알고리즘을 사용하여 실시간으로 생산순서를 결정하기 위한 해법을 제시하였다. 또한 실험을 통해 유전파라미터를 분석하여 적절한 값을 찾고, 생존방법을 분석하고 유전알고리즘과 분지한계법을 계산시간과 해의 효율 측면에서 비교분석하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] Bard, J.F., Dar-El, E.M. and Shtub, A., "An analytic framework for sequencing mixed model assembly lines", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 30, pp. 35-48, 1992.
- [2] Goldberg, D.E. and Deb, K., "Comparative Analysis of Selection Schemes Used in Genetic Algorithms", *Foundation of Genetic Algorithms*, Edited by Gregory J.E., Morgan Kaufmann publishers, pp.69-93, 1991.
- [3] Hyun, C. J., Kim, Y. K., "A Genetic Algorithm for Multiple Objective Sequencing Problems in Mixed Model Assembly Lines", *Computers & OR*, 98.7
- [4] Kim, Y. K., Hyun, C. J., Kim, Y., "Sequencing in Mixed Model Assembly Lines : A Genetic Algorithm Approach", *Computers & OR*, 1996.12.
- [5] Michalewicz, Z., *Genetic Algorithms + Data Structure = Evolution Programs*, Springer-Verlag, pp.58-62, 1992.
- [6] Miltenburg, J., "Level schedules for mixed-model assembly lines in just-in-time production systems", *Mgmt. Sci.*, Vol. 35, pp. 192-207, 1989.
- [7] Yano, C.A. and Rachamadugu, R., "Sequencing to minimize work overload in assembly lines with product options", *Mgmt. Sci.*, Vol. 37, pp. 572-586, 1991.