

혼합모델 조립라인에서 다목적 유전 알고리즘을 이용한 최적 생산순서계획

김영진* · 김우환* · 김연민*

*울산대학교 산업공학과

Abstract

혼합형 조립라인은 소품종대량 생산체제에 적합했던 단일 모델 전용흐름라인을 다품종 소량시대에 대응할 수 있도록, 한 라인에서 유사한 여러 모델을 함께 생산하는 조립라인이다. 이러한 라인의 대표적인 예로서 승용차 조립라인을 들 수 있는데, 고객의 요구(옵션사항)에 따라 여러가지 차종을 다양한 모델로 연속하여 생산하고 있다. 이러한 혼합형 라인의 가동을 향상을 위한 의사결정 문제로서 라인밸런싱과 순서결정이 있다. 라인밸런싱은 통합선행관계도에 나타난 선행조건을 만족하고 작업장의 작업 부하가 균형을 이루면서 요구되는 작업장의 수가 최소가 되도록 각 작업장에 작업을 할당하는 절차이다. 반면에 순서결정문제는 라인밸런싱의 결과로서 각 작업장에 할당된 모델들의 작업부하를 최대한 각 작업자의 작업영역 안에서 행할 수 있도록 모델간의 투입순서를 결정하는 절차이다. 이 중에서 순서결정문제는 모델들의 투입간격 즉 사이클타임을 각 모델마다 다르게 하지 않고 모든 모델에 동일하게 하는 고정 사이클타임(fixed cycle time)방식을 적용할 경우에 발생한다. 작업장에 할당된 모델별 작업량과 모델들의 총 조립시간은 모델별로 다르기 때문에 합리적으로 순서결정을 하지 않으면 작업장간의 작업부하의 불균형을 초래하게 된다. 이 경우 작업시간이 고정 사이클타임보다 큰 모델이 연속적으로 투입되면 부가작업(utility work)이 많아져서 라인길이 및 사이클타임을 길게 해야하는 등 라인 운영에 어려움을 초래하고 급기야는 컨베이어를 정지해야 하는 경우까지도 발생하게 된다. 이러한 순서결정문제는 작업장의 수와 모델의 수가 증가하면 최적해를 구하기 어려운 NP-hard문제임이 밝혀져 있다. 따라서 기존에 여러 휴리스틱 해법들이 제안되어져 오고 있다.

기존의 혼합 모델에서 작업순서를 구하는 알고리즘은 Thomopoulos(1967), Macaskill(1972)이 부가작업, idleness, deficiency 및 congestion을 최소화하는 근사 algorithm을 개발한 바 있고, 일본의 제조 상황에서 Okamura와 Yamashina(1991)은 컨베이어 중단 위험을 최소화하는 자기발견적 알고리즘을 개발하였다. 그들의 자기발견적 기법은 작업의 교환과 삽입을 통해 최대편차(maximum displacement)

를 줄이고자 하였다.

Yano와 Rachamadugu(1991)은 총부과작업을 최소화하는 문제에 대한 정식화를 하고 이를 두 가지 작업 시간만을 가지는 특별한 경우에 대하여 풀었다.

Bolta과 Yano(1992)는 하나의 작업장에서 총부가작업을 $O(N)$ 계산시간 내에 최소화하는 몇 가지 알고리즘을 개발했다. 한편 Bolat과 Yano(1992)는 계산의 용이성을 위해 부가작업에 대한 surrogate objective를 제시하기도 했다.

한편, 여러 작업장을 고려한 문제는 한 작업장만 고려한 알고리즘을 이용할 수 있는데 Yano와 Rachamadugu(1991)의 K 작업장에 대한 greedy procedure는 $O(KN)$ 단일 작업장 부가작업 최소화 문제와 일치한다.

Tasi(1992)는 최대누적비용을 최소화하는 n개의 작업순서 문제를 풀고, 두 가지 형태의 작업만 고려한 알고리즘을 제시하였다. Tasi(1995)는 작업장의 길이를 고려하여 (1)컨베이어의 중단 위험과 (2)총 부가작업(utility work)을 최소화하는 N개의 제품 작업 순서(Product Sequencing)를 구하는 문제가 NP-hard임을 밝히고, 두 가지 형태의 작업만 고려할 경우 $O(\log N)$ 의 계산시간으로 풀 수 있는 최적해 알고리즘을 제시하였다. 그러나, M개의 제품 형태와 작업시간을 고려하여 (1)컨베이어의 중단 위험과 (2)총 부가작업(utility work)를 최소화하는 N개의 제품 작업 순서를 구하는 문제를 구하는 정식화와 그것을 풀 수 있는 알고리즘은 아직 개발되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 M개의 제품 형태를 고려하며 (1)컨베이어의 중단 위험과 (2)총 부가작업을 최소화하는 N개의 제품 작업순서를 구하는 알고리즘을 개발하고자 한다.

본 연구에서는 문제 접근을 위해서 다음과 같은 가정을 하고 있다.

- (1) 여러 개의 제품은 고정사이클 간격으로 투입되고 있다.
- (2) 제품별 각 작업시간은 결정적(deterministic)이며 사이클 타임과 제품혼합(product mix)은 미리 결정되어 있다.
- (3) 작업장의 형태는 폐쇄작업장(closed station)으로서 idleness, deficiency 및 congestion 문제는 고려에 넣지 않는다. 여기서 idleness란 작업자가 다음 작업이 투입되기를 기다리는 것이며, deficiency와 congestion은 개방작업장(open station)에서 작업자가 특정 작업 범위를 넘어 작업하는 것을 말하며, deficiency의 경우는 작업자가 작업상한을 넘어 작업하는 경우이며, congestion은 작업하한을 넘어 작업을 수행하는 것을 말한다.
- (4) 작업장에는 1인의 작업자가 배치되어 있다.
- (5) 제품에 따른 작업 준비시간은 무시한다.
- (6) 새로운 작업을 위해 컨베이어 상류방향으로 이동하는 작업자의 이동 속도는 일정하다.

이러한 가정하에서 이 문제는 다음과 같이 정식화될 수 있다.

이 혼합정수 모형은 Yano와 Rachamadugu(1991)와 Tasi(1995)의 정식화를 보다 현실적으로 개선한 정식화로 부가적인 제약식이 붙어있는 할당문제로 볼 수 있다.

목적함수는 최대시작시간(maximum starting time)을 최소화함으로써 컨베이어의 중단위험을 줄이는 것(목적함수 1)과, 총 부가작업(utility work)을 최소화하는 것(목적함수 2)이 있다. 제약조건은 각 작업장에 작업할당을 하나만 할 수 있도록 하고((2), (3)식), 후행 작업의 시작시간(starting time)은 선행작업이 종료되는 시간과 작업자가 다음 작업을 위하여 이동하는 시간과의 차이에 의해서 구해진다. 만일 선행작업이 종료되는 시간이 사이클 타임보다 적다면 사이클 타임과 작업자가 다음 작업을 위하여 이동하는 시간과의 차이에 의해서 구해진다((1),(4)식). 수리모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z &= Z_1 + Z_2 \\
 &= \text{Max } y_j + \sum_{j=0}^n [y_j + v_j - L]^+ \\
 \text{s.t. } & y_j = [\min(y_{j-1} + v_{j-1}, L) - w]^+ \quad \forall_j \quad (1) \\
 \sum_i x_{ij} &= 1 \quad \forall_j \quad (2) \\
 \sum_j x_{ij} &= 1 \quad \forall_i \quad (3) \\
 v_j &= \sum_i p_i x_{ij} \quad \forall_i \quad (4) \\
 x_{ij} &= 0 \text{ or } 1, \quad v_j \geq 0, \quad p_i \geq 0, \quad y_i \geq 0
 \end{aligned}$$

여기에서

- L = 작업장에서의 사이클 타임
- $x_{ij} = 1$ (j 번째 작업이 i 작업형태를 가지게 될 때)
- v_j = j 번째 작업에 할당되는 시간
- y_j = j 번째 작업의 작업 시작시간
- p_i = i 작업의 작업시간
- w = 작업자의 이동 시간

$$[\min(y_{j-1} + v_{j-1}, L) - w]^+ = \begin{cases} \min(y_{j-1} + v_{j-1}, L) - w & \text{if } \min(y_{j-1} + v_{j-1}, L) > w \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

유전알고리즘은 여러개의 개체로 이루어진 모집단을 운영하는 반복적 탐색의 성질을 갖고 있다. 유전알고리즘은 먼저 주어진 문제의 잠재해를 임의로 생성시켜 초기모집단을 생성한다. 생성된 초기모집단에서 평가함수에 의해서 각 개체의 적응도를 평가하고 이에 기초하여 생존할 개체들을 선별한다. 선별된 개체로 이루어진 모집단에 유전연산자를 적용하여 다양한 해공간의 탐색을 가능하게 하여 좋은 해로의 유도가 가능하게 된다. 유전 알고리즘을 적용한 문제의 해법에서 인자의 위치는 제품생산 순서를 나타내고, 인자의 값은 작업형태를 나타낸다. 본 연구에서는 이점 교차연산자와 돌연변이 중 역순을 이용하여 자손개체를 생성해 나간다. 이점 교차연산자의 두점은 랜덤하게 발생시키고, 역순은 하나의 인자가 선행 인자의 값과 다를 때 그 인자를 중심으로 선행인자 또는 후행인자와의 역순을 일으키며 연산을 수행해 나간다. 문제의 종료 조건은 임의의 세대동안 가장 좋은 해의 개선이 없는 경우에 발생한다. 이런 알고리즘을 사용하여 NP-hard 문제로 알려져 온 M개의 제품 형태를 고려한 (1) 컨베이어의 중단위험과 (2)총 부과작업을 최소화하는 N개의 제품 작업 순서를 구하는 문제를 풀었다.